



TITLE:

高速道路における交通量計測に関する基礎的研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

巻上, 安爾

CITATION:

巻上, 安爾. 高速道路における交通量計測に関する基礎的研究. 京都大学, 1975, 工学博士

ISSUE DATE:

1975-03-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r2752>

RIGHT:

高速道路における交通量 計測に関する基礎的研究

昭和49年10月

卷 上 安 爾

序

近年の道路交通需要の増大に伴ない、道路の利用状況を適確に把握しておくことは、道路の管理運用さらには将来の道路計画立案上その重要性は日毎に増大してきている。特に交通量は道路利用状況を示す最も基本的尺度である。交通量を計測し記録しておくことはいずれの幹線道路においても欠くことのできない行為である。

この交通量の計測は道路の主要地点において常時行なわれているが、このためには交通量計測器機の利用が必要になってくる。また最近都市内の主要幹線街路や都市内高速道路あるいは一部の都市間高速道路においては渋滞対策として多数の車両検知器を駆使して各種の交通制御が不可欠のものとなってきた。街路における広域制御や高速道路における交通管制のシステムの開発が促進されたゆえんである。

本研究は超音波式またはループ式車両検知器といった交通量自動計測器機を用いて計測される計測交通量について、その誤差の範囲や信頼性を確率統計論的に検討し、さらに車両検知器の配置方法についても検討を加え車両検知器の適切な利用を計るための基礎的研究を行なったものである。特に計測誤差の低減を計るための研究としてはこれまで主として器機自体または器機のシステム構成上からの検討に流れがちであったが、交通流特性の基礎にたったアプローチを試みている。研究対象とした交通流は名神高速道路のような都市間高速道路が主となっている。

本研究を行なうにあたって終始御指導と御鞭撻を賜った京都大学工学部米谷栄二教授ならびに佐佐木綱教授に対し深甚なる謝意を表したい。大野勝久助教授と井上矩之助手にも御指導と御討議をいただいた。また高速道路調査会交通流監視制御研究班の委員の方々にも御討議をいただいている。特に同委員会の岩本俊輔委員からは車両検知器の作動原理等について多大の御指導を得た。諸兄に対し心より感謝の意を表する次第である。

昭和49年10月

巻 上 安 爾

目 次

第 1 章	緒 論	1
1-1	交通量計測の意義と本研究の意図	1
1-2	本研究の概要	3
第 2 章	交通量自動計測の理論	5
2-1	車両検知器の種類と計測のメカニズム	5
2-2	計測過程検討のための交通発生モデル	22
2-3	計測過程の確率モデル	38
2-4	実測例に基づいた計測過程モデルの評価	65
第 3 章	車両検知器の車線配置論	85
3-1	地方部高速道路における走行実態と異常通行	85
3-2	車両検知器の車線配置と実測精度	106
3-3	計測過程モデルの多車線交通流への適用	125
3-4	適用結果の評価と高異常通行地点についての考察	151
第 4 章	車両検知器の地点配置論	162
4-1	地点配置の実例とこれまでの研究	162
4-2	計測単位時間と単位時間交通量の変動傾向	179
4-3	2 地点間の計測交通量の相互関係	198
第 5 章	結 語	225

第 1 章

緒

論

第 1 章 緒 論

1-1 交通量計測の意義と本研究の意図

交通量という言葉の表わす意味には道路上でなされた輸送仕事量、すなわち輸送される対象の単位にそれが輸送された距離を乗じた値で表わされたものと、単にある地点を単位時間内に通過した輸送対象の数だけで表わされたものがある。

前者は道路の経済効果など輸送経済の面の考察を行なう場合に好都合であるが、交通工学的な考察を行なう場合一般的には後者の方が多く用いられる。ここにおいても交通量とは「ある時間内に道路上の一点を通過する車の数」として取り扱う。交通量の基準となる時間単位としてはいろいろなものが用いられ、日交通量(台/日)や時間交通量(台/時)などがもっとも多いが、そのほかにも12時間交通量や15分、5分間交通量のように分単位が用いられることもある。^{1) 2) i)}

このように交通量の定義は単純明快ではあるが、交通量自体は交通の量的特性を表わすもっとも一般的な単位として研究、計画、設計および交通運用や改良計画の各段階で広く利用されているものである。たとえば研究の面では、John P. Kinzer (1933) によって提唱されたボアソン分布モデルから始まり、Haight (1959) の一般ボアソン分布モデルやBuckely (1962) の変動ボアソンパラメーターモデル等は交通量観測結果を確率統計的に解析した結果得られたものである。ⁱⁱ⁾ また道路の計画、設計上で欠くことのできない交通容量の定義づけとしその算定方法を示した1950年度版 Highway Capacity Manual, および交通運用上明確な指針となるサービス水準の概念を示した1965年度版 Highway Capacity Manual は多くの交通量観測資料に道路構造や交通の構成等を対比分析した結果の積み重ねの結果得られた貴重な資料である。特に供用中の道路の管理運用の面では管理区間の交通量の特性を常に把握しておくことは欠くことのできないものである。路面の補修作業や事故発生時の交通誘導法等道路の管理作業のどれをとってもその時点での交通量がどの程度のものであるかを知らずに有効適切な対策を実行に移すことは不可能である。

さてこのように道路交通の各分野で重要な指標となる交通量を計っていく手段、いわゆる交通量計測の方法としては、まず人力による計測が挙げられるが多大の労力と費用を要し、かつ、連続して長期に亘る実施が不可能であるので日数と時間を限って行なわれる調査以外には実施できない。したがって常時交通量を計測する場合には車両検知器を使用しなければならない。車両検知器には圧力式(ゴムホース式、踏板スイッチ式)、電磁式(ループ式、磁気式)、光電式(超音波式、レーダー式)、騒音式等種々のタイプが開発されているが現在ではループ式と超音波式の車両検知器が多用されている。またこれ等車両検知器の利用技術も進歩し、車両検知器の計測結果を直ちに現実の交通流の制御

に生かして円滑な交通を確保する技術も近年特に発達してきている。いわゆる都市内の主要街路で行なわれている広域制御あるいは都市内および都市間高速道路で行なわれる交通管制がそれであって、これらのシステムにおいては多数の車両検知器から得られる車両検知信号を中央処理装置で計測処理し交通流の制御が行なわれている。

ところで複数の車両検知器から送られてくる車両検知信号を1台の処理装置で計測するためには、あらかじめ定められた順序で逐次1台ごとの検知信号を調べていくことが通常よく行なわれているがこの処理を走査、またはスキャンニングと呼びこのスキャンニングが一巡するのに必要な時間をスキャンニング周期といっている。このスキャンニング周期は通常数十ミリ秒あるいは数百ミリ秒という微小時間であるが、交通制御システム等に機器の設計を行なう面で重要な要素である。スキャンニング周期を短くとると計測結果の精度はあげられるが計測処理可能な車両検知器の数が限られ、逆に中央処理装置の能力を個定し、より多くの車両検知器を設置しようとすればスキャンニング周期を長くとりざるを得ず、したがって計測結果の精度の低下をある程度は認めなければならないであろうと考えられていたからである。³⁾

しかしながらこのスキャンニング周期の値については、これまで車両検知器自体の精度、または中央処理装置と車両検知器の有効な組合せといった主として器機的な検討で定められており、交通流の特性からの制約条件としては、車両検知器が車両の存在を検知する時間に直接影響する車長や速度の分析、あるいは車頭間隔の実測値からスキャンニング周期として考えられる最大または最小の値の検討のみに止まっていた。すなわちスキャンニング周期の最適化についてはハードの面からのアプローチが主体となっており、肝心の計測対象となる交通流自体の特性を考慮した検討は行なわれていないのが現状である。

冒頭で述べたように交通量は交通工学における基本的要素である。本研究はこの交通量の自動計測化における上記の問題点をうめ、車両検知器のスキャンニング周期の最適化に対して交通流特性自体からのアプローチを得ることを第一の目標とするものである。第二に多車線交通流、主として一方二車線の道路における車両検知器の配置方法とこの場合の計測結果の信頼性を、第三に道路延長上における車両検知器の配置方法についての研究を行なったものである。なお研究対象の交通流としては主として名神および東名高速道路のような地方部高速道路本線の交通を基礎にしている。

1-2 本研究の概要

上記で述べた研究内容の第一は第二章で取り上げている。研究対象となるのは一車線交通流、あるいは、車線を跨いで走行するような異常走行車の全くない車線交通流である。まず代表的車両検知器であるループ式および超音波式車両検知器の交通量計測のメカニズムを紹介して、両検知器における計測過程での共通点である車両検知器の占有、非占有状態の概念とスキャンニング法における計測誤差発生過程の明確化を試みる。さらにミリ秒オーダーの微小時間で交通流を考える場合の交通発生モデルとしては二重マルコフ連鎖を利用し、この交通発生モデルから理論上再現される車両検知器の占有、非占有状態に対して計測誤差の発生過程が説明可能な計測過程モデルを提案し、名神高速道路の交通量とオキュパンシーの実測結果を基礎として理論上の最適スキャンニング周期の追求を試みる。

また名神高速道路本線、同高速道路の二車線ランプおよび阪神高速道路ランプにおける車両検知器の検知精度の実測結果を上記のモデルを用いて検討し、モデルの適応性と自動計測における誤差の最大要因である異常通行に対する検討を行なう。

第三章では多車線道路における車両検知器の横断方向の配置と交通量計測の信頼性について論ずる。第一に問題となるのは計測過程モデルの多車線道路への適応化である。このために名神高速道路における各種交通実態調査の結果を参考にして交通量、車種構成の車線分布および異常交通発生率の算定を行ない片側二車線交通の車線別特性の明確化を試みる。さらに高速道路調査会交通流監視制御研究班の実測結果から示される車両検知器の配置方式と異常走行車の検知パターンの組合せから片側二車線の都市間高速道路における計測誤差の限界を試算する。また高異常通行地点についての対策の検討も行なう。

第四章においては、車両検知器の地点配置についての検討を行なう。すなわち地方部高速道路の単路部において車両検知をどの程度の間隔で設置すればよいかの検討である。車両検知器の地点配置はその設置目的に応じて変化し単純に割り切れるものではないが、ここでは地方部高速道路において事故等の異常事態が発生した場合、その地点を挟む上流、および下流側の車両検知器で計測された交通量から異常の検知がどの程度可能であるかを検討する。このためには交通量計測の単位時間をこれまでの研究と実施例から定め、さらに単位時間交通量の変動特性を二重マルコフ連鎖に基づく交通発生モデルから求めなければならない。またこの交通の変動や異常事態の交通流への影響が下流側車両検知器へどのように伝達されていくかについての検討も行なう。これらの結果を基にして、異常事態検知の可否は異常がなかったと仮定した場合の下流側車両検知器の計測交通量の変動性からみて、異常事態の伝達交通量が信頼限界外にあるかどうかによって検定を行なう。地点配置の比較は交通流監視

制御研究班の提案する車両検知等間隔設置方式のうち5Km間隔案と2Km間隔案の二案を取り上げて試算を行なうものである。

第五章においては上記の二、三および四章で得られた結論のとりまとめ、および問題点についての検討を行なう。

参 考 文 献

- (1) 米谷栄二・渡辺新三・毛利正光； 交通工学、国民科学社、昭和40年3月、P82～84
- (2) 交通工学研究会編； 交通工学ハンドブック、技報堂、昭和48年3月、P105～106
- (3) 高速道路調査会交通流監視制御研究班； 高速道路の交通流監視制御装置に関する研究報告書、昭和46年3月、P69～70

- (i) T.M.Matson・W.S.Smith・F.W.Hurd； Traffic Engineering、McGraw-Hill Book Company、1955、P67～68
- (ii) D.J.Buckley；Road traffic counting distributions、Trans.Res.、1(2)、105—116、1967

第 2 章 交通量自動計測の理論

第 2 章 交通量自動計測の理論

2-1 車両検知器の種類と計測のメカニズム

2-1-1 動作原理による車両検知器の種類

車両の存在または通過を検知するには、車両の持つ固有の属性により検知子（センサ）に与える影響を物理量に変換することが必要である。この観点から車両検知器を作動の原理別に大別すると次の方式に分けられる。

- (1) 圧力式（ゴムホース式、踏板スイッチ式）； 車両の接地圧を使用したもの。
- (2) 電磁式（ループ式、磁気式）； 車両の金属すなわち導体、または磁性体であることを使用したもの。
- (3) 光電式（赤外線方式、レーザー方式、超音波式、レーダー式）； 車両の形状すなわち面積、容積、不透過性などを利用したもの。
- (4) 騒音式、雑音式； 車両から発散する音または電波エネルギーを利用したもの。

これらの各種の検知器は安定性、精度、価格、設置、運用、保守などにおいてそれぞれ一長一短があるが、総合的にループ式と超音波式が他よりすぐれ現在ではこの 2 方式のものが主として用いられている。各種作動原理別に分類した車両検知器の比較を表 2-1 に紹介しておく。

なお動作モードによる分類としては通過形と存在形（プレゼンス形）に分けられる。通過形はその出力が車両の存在時間に対応しないため交通量の計測には有効であるが、時間オキュパンシーの計測には不向きである。存在形は反面その出力が車両の存在時間に対応しているため交通量、時間オキュパンシーの計測に有効であり現在は一般には存在形が用いられている。以下に主としてループ式と超音波式の車両検知器について計測のメカニズムを概説する。^{(1) (2)}

表－２－１ 各種車両検知器の比較

方 式	精度	安定度	設置難易	寿命	消費電力	車線区分	存在検知	1台で方向判別	速度測定	車長判別	実施例	価格	問題点
車輪感应形	ゴムチェーブ式	やや良	良	容易	短	小	不可	不可	不可	組合せで可	不可	多、安価	ゴムチェーブが切れやすい
	踏板式	良	良	困難	中	小	可	不可	不可	組合せで可	不可	少、安価	道路をいためやすい
	テープスイッチ式	良	良	容易	短	小	可	不可	不可	組合せで可	不可	少、安価	路面への固定が困難
	ロードセル式	良	やや不良	困難	中	小	可	不可	不可	組合せで可	不可	なし、高価	精巧な調整が必要
金属感应形	磁気式	良	やや不良	困難	中	小	可	可	不可	組合せで可	可	国外のみ、高価	金属があると感度低下
	ループコイル式	きわめて良	良	やや困難	長	小	可	可	不可	組合せで可	可	多、安価	ループの寿命は路面の強度に依存
形状感应形	光電式	不良	良	やや困難	中	大	不可	可	不可	組合せで可	不可	少、高価	電球の交換、汚損保守
	レーダ式	良	良	容易	中	大	可	可	組合せで可	組合せで可	組合せで可	少、高価	無線局免許、操作者資格、発振管の寿命と価格
	ドップラレーダ式	良	良	容易	中	大	可	不可	可	可	可	少、高価	
	超音波式	良	良	容易	長	中	可	可	組合せで可	組合せで可	組合せで可	多、やや高価	強風(30m/S)に流される。
	ドップラ超音波式	良	良	容易	長	中	可	不可	可	可	可	少、高価	
その他	騒音式	不良	良	容易	長	小	不可	可	不可	不可	不可	なし、安価	外来騒音で誤動作
	雑音電波式	不良	良	容易	長	小	不可	可	不可	不可	不可	なし、安価	ディーゼル車検知せず

注) ↗増加傾向、↘減少傾向

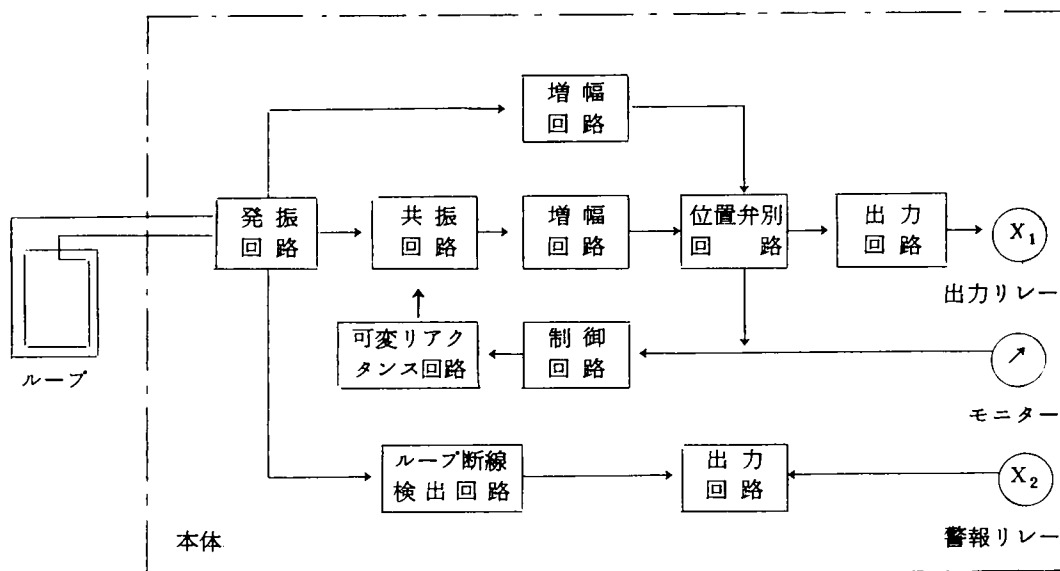
2-1-2 ループ式車両検知器

(a) 動作原理

ループ式車両検知器は道路内に埋設された絶縁電線のインダクタンスループが車両の接近によって電気的な定数を変化させることを検出するものである。電気的な定数の変化の検出方法にはループをインピーダンス素子として構成させるブリッジ方式、共振素子として構成させた周波数または位相差検出方式などがある。

図－２－１は位相差検出方式の回路のブロック線図である。図においてループを発振コイルとした発振回路で、共振回路周波数に等しい周波数を発振させておく。ループに車両が接近してく

るとループのインダクタンスが減少し、発振周波数が変化する。発振周波数の変化によって生じた共振回路周波数との位相差が一定値以上になったときに出力回路から車両検知出力が出される。制御回路および可変リアクタンス回路は温度、水分あるいはループの変形によるループ定数の変化を補正し、位相弁別の基準となる共振回路周波数を最適値におくための回路である。道路の破損によるループの損傷は発振回路の監視によって検出され警報出力が出される。



図－２－１ ループ式車両検知器ブロック線図：

(b) ループの電気的等価回路

インダクタンス L_p 、抵抗 r_p を持つループコイルを道路に埋設するとその磁束が道路の舗装材料、路床、路盤などを貫通するため、これらがループのエネルギーを吸収して見かけのインダクタンスが減少し、見かけの抵抗が増加する。またループ内に金属製の車両が進入すると車両の金属面にうず電流が発生しやはり同じ現象を生ずる。以上のことから車両検知器のループコイルを図－２－２の等価回路で表わすことができる。

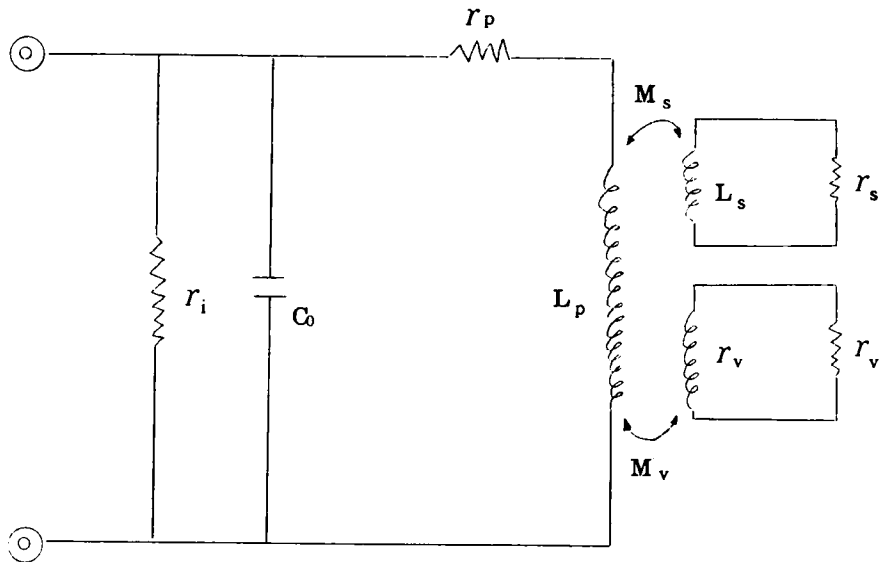


図-2-2 ループの等価回路

ただし L_p : ループの真のインダクタンス

r_p : ループの真の抵抗

r_i : 巻線間の絶縁抵抗

C_0 : 巻線間の漂遊容量

M_s, L_s, r_s : ループを埋設することによりエネルギー吸収の起る二次回路

M_v, L_v, r_v : 車両のループ内進入によりエネルギー吸収の起る二次回路

ここで M_s, L_s, r_s は埋設方法、道路事情、気象条件により、また M_v, L_v, r_v は車両の形状、種類、通行状況によって変わる。したがってループが自由空間に支持されているときは図-2-2の M_s にかかわる二次回路は無視される。この状態で車両が進入または接近したときにループのインダクタンスが ΔL_v 減少したとすれば、これによる発振周波数の上昇 Δf は、 $L_p \gg \Delta L_v$ と仮定して

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_p - \Delta L_v)}} - \frac{1}{2\pi\sqrt{CL_p}} \div \frac{\Delta L_v}{4\pi\sqrt{C} L_p^{3/2}}$$

ただし C は発振回路のコンデンサ容量である。

もとの発振周波数を f_0 とすれば車両接近による周波数変化率 $\Delta f / f_0$ は次式で与えられる。

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\Delta L_v}{2 L_p} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

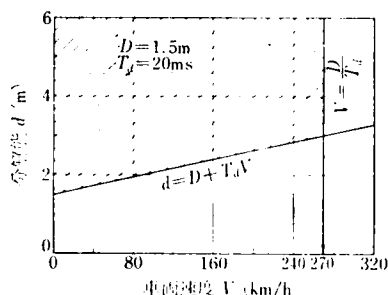
ループがあらかじめ埋設されていて、その上へ車両が進入したときの周波数変化率は上式の L_p の代わりに $L_p - \Delta L_s$ 、 f_0 の代わりに f_s とおくと

$$\frac{\Delta f}{f_s} = \frac{\Delta L_v}{2 L_p} \sqrt{1 - \frac{\Delta L_s}{L_p}} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

ただし ΔL_s は埋設によるインダクタンスの減少値であり、 f_s は埋設状態での発振周波数である。周波数あるいは位相差検出方式の車両検知器では式(2-1)または式(2-2)で与えられる変化等を検出するのである。

(C) 分解能

2台の車両を2台として判別できる最少車間間隔を分解能という。分解能は車両進行方向のループの長さ、車両検知器の出力回路のリレーを含む動作遅れ、および車両の進入速度によって決まる。図-2-3はループの長さを1.5mとしたときの車両の速度V Km/hと分解能d mの関係を示すものである。図から分解能はループの長さにはほぼ等しく、車間間隔3mまでは判別できることを示す。一般に標準的な車両検知器ではループの長さの1.5倍を分解能としている。車両検知器の動作の遅れ時間 T_d はせいぜい数10msであり図-2-3の例では20msとしている。 $T_d \geq \text{ループ長} / \text{車両速度}$ となるときは 検出力は出ない。図からわかるように270 Km/hが限界速度であり、通常の数値観測で得られる最高速度では実用上の問題はない。



D : 有線ループ幅 T_d : 回路の遅れ時間

図-2-3 ループ式車両検知器の分解能

(d) 車種による感度

図一 2 - 4 は橋梁、高架のように路面下に鉄筋がある場合と、土工部のように鉄筋等の影響がない場合について、ループ上を通過する車両の種類別に感度分布曲線を示したものである。大型トラックは車体の床が高いために中央部で位相変化が少ないことが示されている。自動二輪車の検知は交通制御上はその検知の必要がない場合もあるので自動二輪車を検知しないようにする感度切替えスイッチが設けられている。

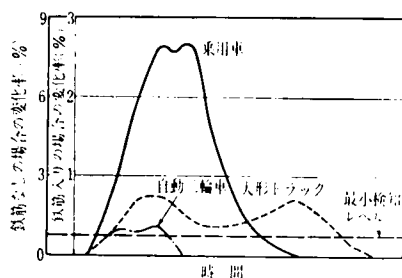


図 - 2 - 4 ループ式車両検知器の感度特性

(e) 横方向の感度

車線ごとに交通流を検知したいとき、車線の適当な位置にループを埋設する。標準的なループの横方向の幅は 2.5 m である。図 - 2 - 5 はループの横方向の各位置を自動二輪車が通過するときの感度を示している。125cc 級の自動二輪車では横方向の両端で感度が高いことが示されている。一般に乗用車ではループの幅の 1/4 を占有すると検知し、大型トラックでは 1/3 を占有すると検知する

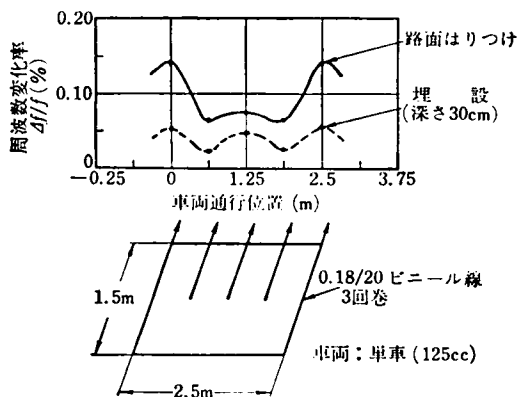


図 - 2 - 5 ループ埋設の感度に与える影響

2-1-3 超音波式車両検知器

超音波による車両検知器の方法は大別して連続波を用いてドップラー効果を利用する方法とパルス波を用いて車両によるその反射波の有無を検出する方法とがあるが空中での音波の減衰、風の影響などのために一般にはパルス波を用いる事が多い。この場合の車両検知の原理は次のとおりである。⁽³⁾

送出された超音波パルスが、物体で反射され、その反射波が限られた時間内に受信されたとき検知信号を発する。すなわち図-2-6においてLを音速とすると路面よりの反射波はパルスの放射時刻より

$$t = \frac{2H}{C} \text{ Sec}$$

の時間後に受信子に到着する。一方自動車よりの反射波は

$$t' = \frac{2(H-h)}{C} \text{ Sec} \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

の時間後に受信子に到達する。ここで

$$0 < t_1 < t' < t_2 < t$$

の関係のある[t_1 、 t_2]なる時間帯に受信回路のゲートを開けると自動車の存在が検知できる。

この方式を実現する場合種々の方式があり、現在製品化されているものは次の点で相違を見せている。

- | | | |
|----------------|-------|----------------------------------|
| 1. 送受信子の種類 | | { 高音用スピーカー
電歪素子 |
| 2. 送受信子の構成 | | { 送受信が別の素子
送受信が同一素子 |
| 3. 超音波周波数の発振方式 | | { 他 励
自 励 |
| 4. 超音波発振周波数 | | { 低いもの 18 K H Z
高いもの 40 K H Z |

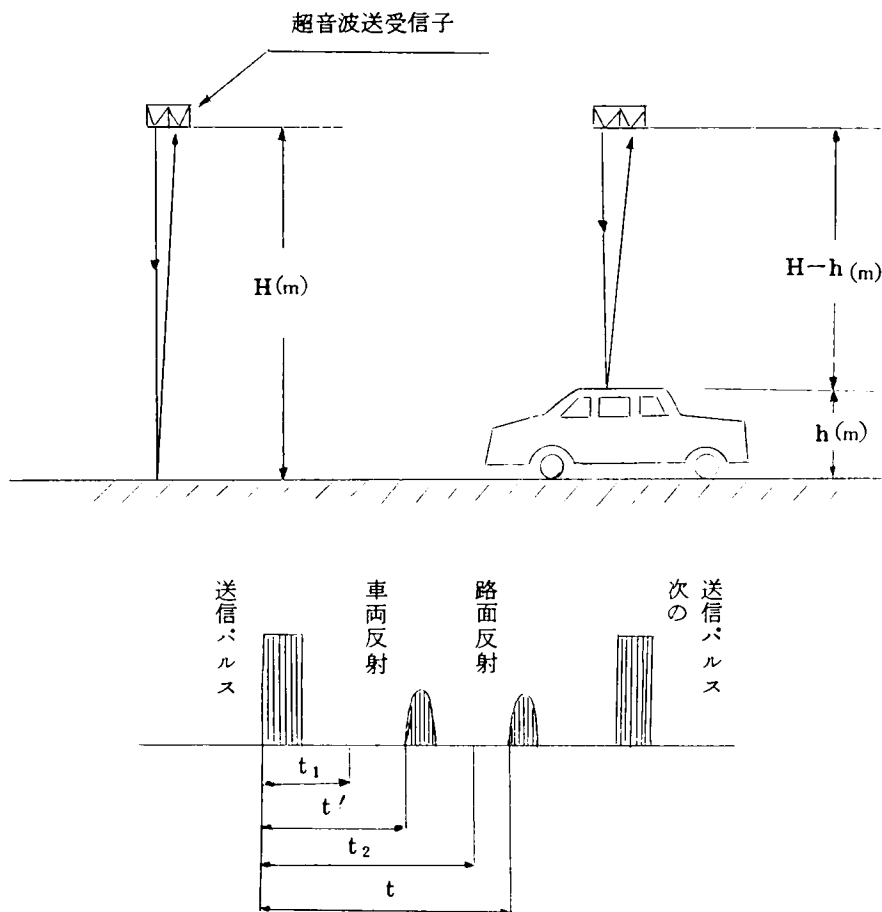


図-2-6 超音波検知器の検知原理

- (a) 図-2-7 はパルス波を用いた反射波受信形の回路の一例を示したものである。一定の繰返し周期で、超音波パルス電気信号がヘッドに供給されると超音波パルスが発射され、車両までの距離に応じた時間遅れののちに車両からの反射波がヘッドに受波される。反射波はヘッドで音響電気交換されて、送波リミッタを経て受波増幅によって必要なレベルまで増幅される。実際には検知対象車両以外の物体からの反射、すなわち道路面、分離帯、ガードレールなどからの不要反射がある。このような不要反射は不要反射抑制回路で抑圧または消去して目的の反射波のみを取り出し波形整形回路で車両台数および時間オキュパンシーに対応するパルスに整形して出力リレーを駆動させる。車両が通過すると一定の周期で車両からの反射波が帰って来るが、1 台の車両

からの反射波は通常の走行速度ではパルス群となって帰って来る。このパルス群を1台の車として検知出力を出すにはパルスごとに遅延回路で出力を保持させてパルス間を橋渡しする必要がある。この保持時間を出力保持時間という。反射波は、空気の渦流や断層による音波吸収係数の変動や車両の形状あるいは異常通行によって有効反射パルスが欠除することがある。そこで出力保持時間が短いと検知出力は1台の車両に対して何回もでることになり計測精度を低下させる。

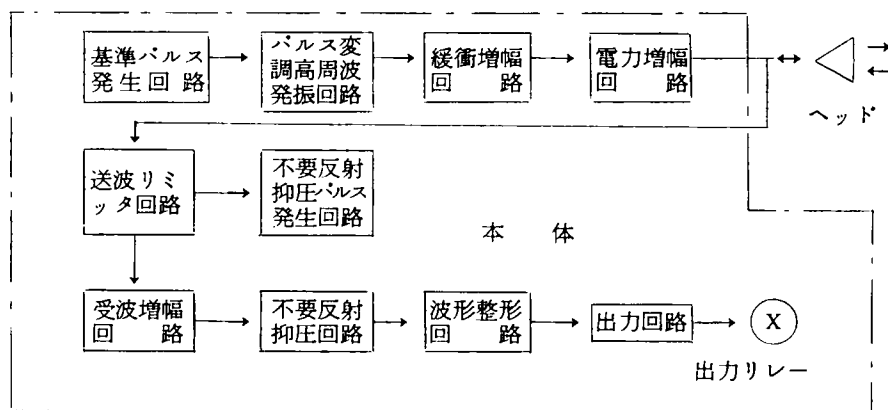


図-2-7 超音波式車両検知器ブロック線図

また出力保持時間が長すぎると分解能を低下させる。時間オキュパンシーの計測ではプラスの誤差を増す。このように出力保持時間は検知精度に直接影響を与えるので交通量の計測と時間オキュパンシーの計測とで目的に適した時間が与えられる。交通量および時間オキュパンシーの同時計測用の場合は、通常パルス周期の1.5～2.5倍に設定される。図-2-8に送受信波から目標反射波を取り出し、さらに出力保持時間を加えて検知出力をだす過程を示す。また図-2-9は1個の反射パルス抜けまで補償するために出力保持時間をパルス繰返し周期の1.5倍に設定したときの波形整形実測図で対象車両は約10Km/hで通過するバス、大形トラック、軽自動車である。図の例では車両検知中の110パルス中、歯抜けの状態は8回発生しているが、出力保持時間の挿入により整形出力に影響が出るのはこの8回の歯抜けのうち2パルス連続歯抜け状態の1回だけに押えられていることがわかる。

* 送波リミッタは大振幅の送波パルスに対して大きな抑制効果をもたせ、微弱な反射波は減衰させることなく後段の増幅回路へ伝える機能をもつ。

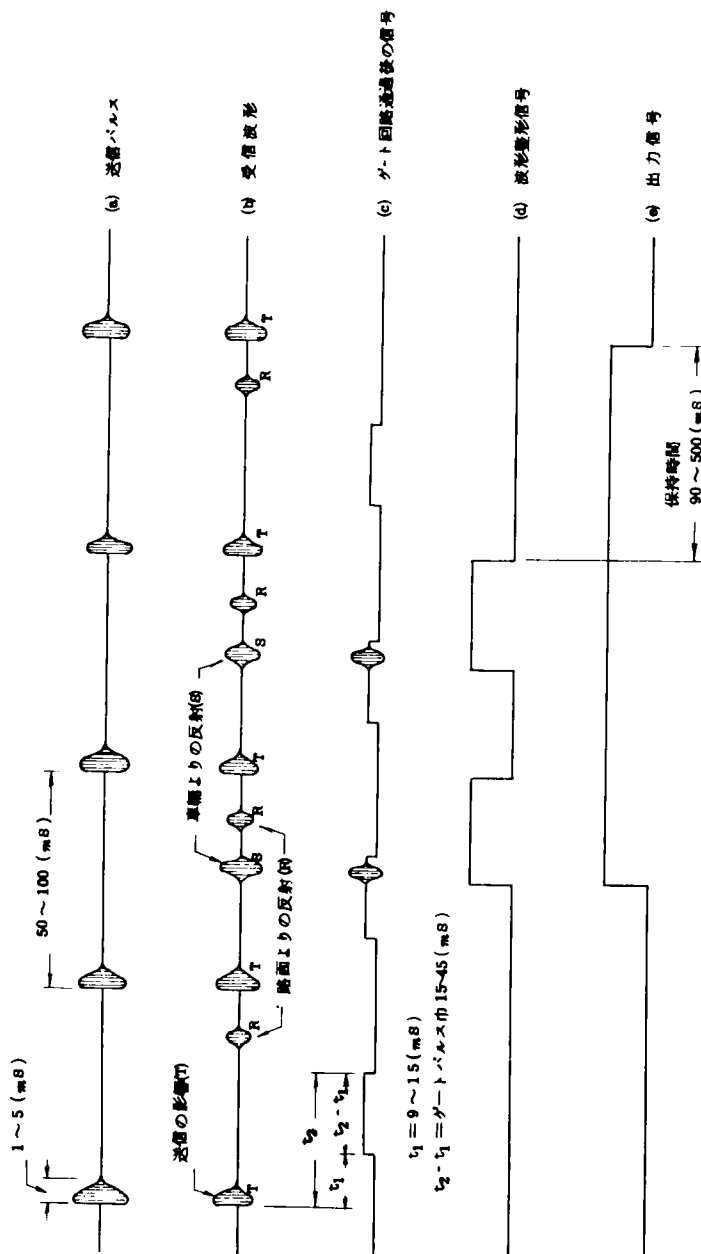


図 一 2 - 8 超音波車両検知器における検知出力過程

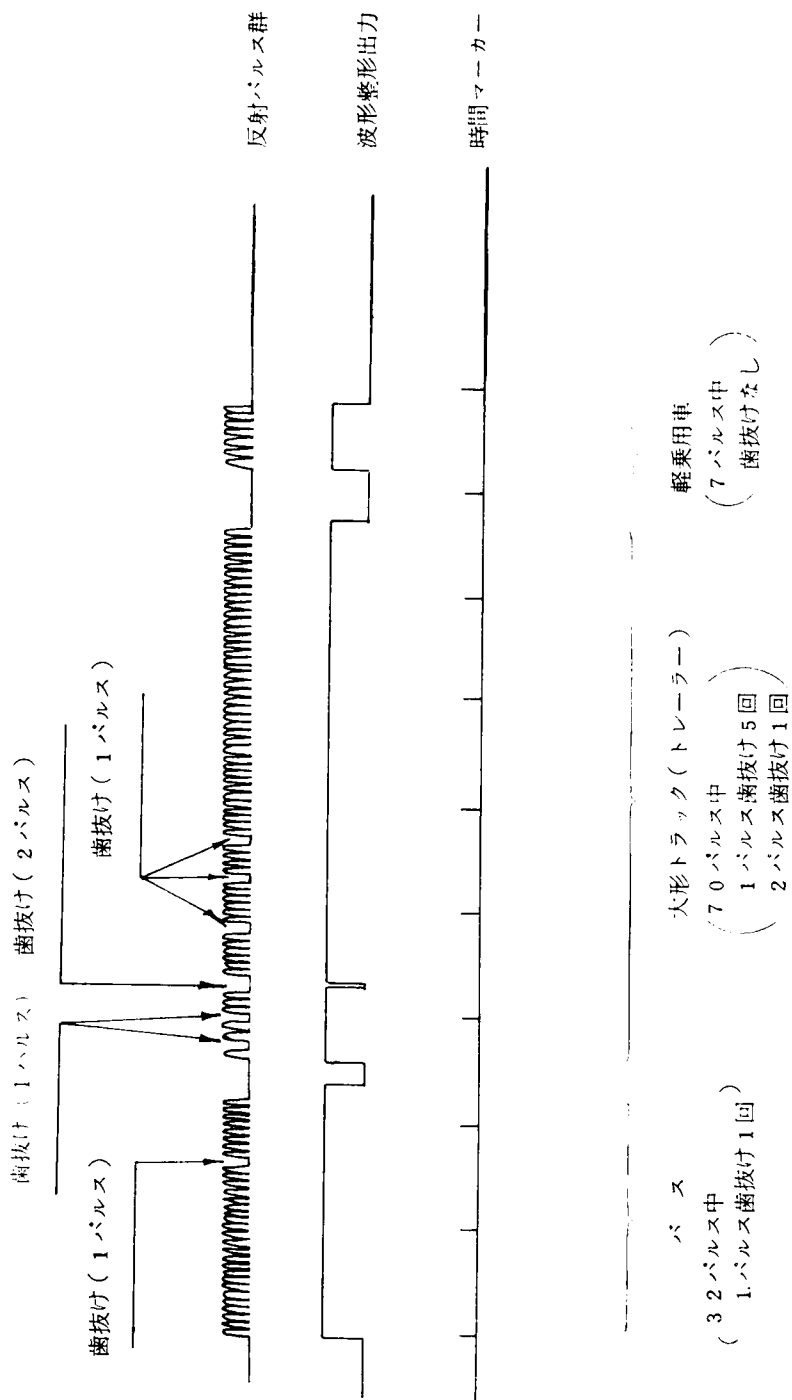


図-2-9 超音波式車両検知器受信波信号波形整形の例

(b) 指向性

超音波ビーム角は鋭いほど送受波の効率がよく分解能も向上するが、あまりにビーム角が鋭いと交通渋滞のとき停車した車両間の空白部分を長時間検出することになり利用目的によっては広ビーム角とすることも必要である。また超音波といえども風に流されるので、風の影響を受けないようにビーム角 θ はつぎの式を満足するように設計されている。

$$\theta \geq 4W/C \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

ここに W : 風速

C : 音速

図-2-10は一般的な超音波ヘッドの指向特性を示したものであって半減角は $4 \sim 5^\circ$ である。この特性をもって超音波式車両検知器では風速 $25m/S$ までは実用上ほとんど問題がない。

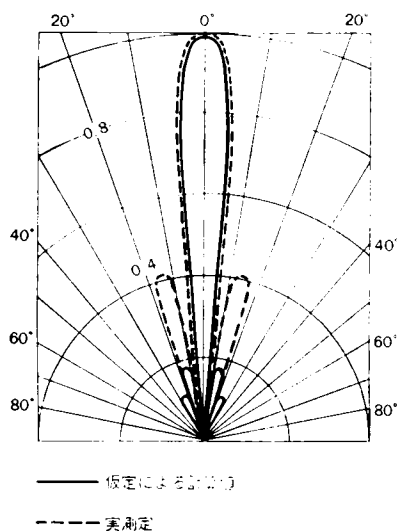


図-2-10 超音波ヘッド指向特性

(c) 分解能

分解能はパルス周期、出力保持時間、音波ビーム角、および車両速度によって決まる。パルス周期は最短車両の最高速度、最大許容風速、車両と超音波ヘッドの最大距離から選ばれており $50 \sim 100m/S$ の間で通常 $80m/S$ 程度である。出力保持時間をパルス周期 T の2倍としたときの車両速度 v に対する分解能 d は

$$d > 2vT \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

車長を L 、ビーム巾 D 、パルス周期 T のとき最大検知可能車両速度は

$$v < \frac{L + D}{T} \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

当然ビーム巾 D 以下の車間間隔は判別できない。 $T = 80 \text{ mS}$ 、 $L = 4 \text{ m}$ 、 $D = 0.6 \text{ m}$ としたときのこれらの関係を図-2-11に示す。

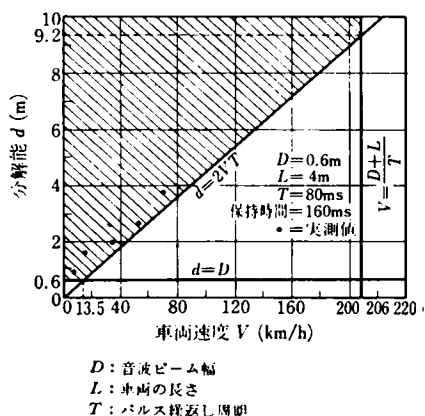


図-2-11 超音波式車両検知器の分解能

図から時速50Kmの車両速度では分解能は3mであることがわかる。時速13.5Km以下の車両速度での分解能は0.6mである。また最大検知可能車両速度は理論的には206Km/hまでであり、その時の分解能は9.2m以上となる。

(d) 設置方法

超音波式車両検知器の設置方法は図-2-12に示すように大別して頭上式、斜上式、側射式の三種がある。頭上式は二車線以上の道路における台数計測には最も妥当な方法であるが、車両前後の傾斜部分での反射波が得られない場合があるという弱点があるのに対し斜上式と側射式では車両側部のもっとも平面に近い部分を反射対象面としているために均一に反射波が得られる。その状況をバンタイプの車で示したものが図-2-13である。したがって一車線ランプのような一車線道路では斜上式または側射式によるヘッドの設置が望ましい。ただしヘッドの設置方式は上述の検知精度のほか、工事、調整保守の難易性、経済性などにも大きく影響するため、測定地点の交通状態や道路の条件などを十分に検討して定める必要がある。

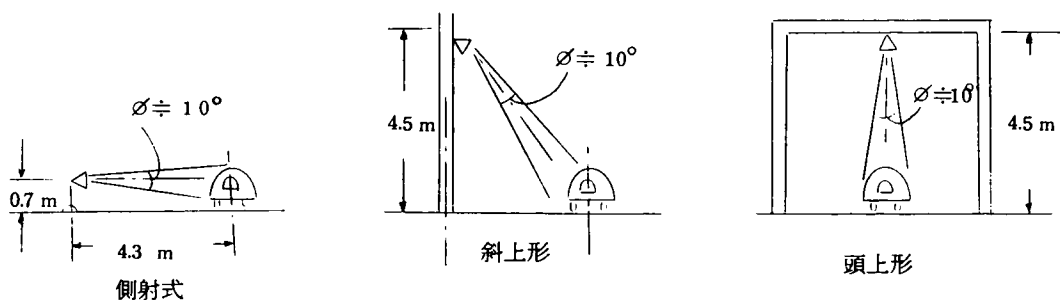


図-2-1-2 超音波車両検知器の設置方法

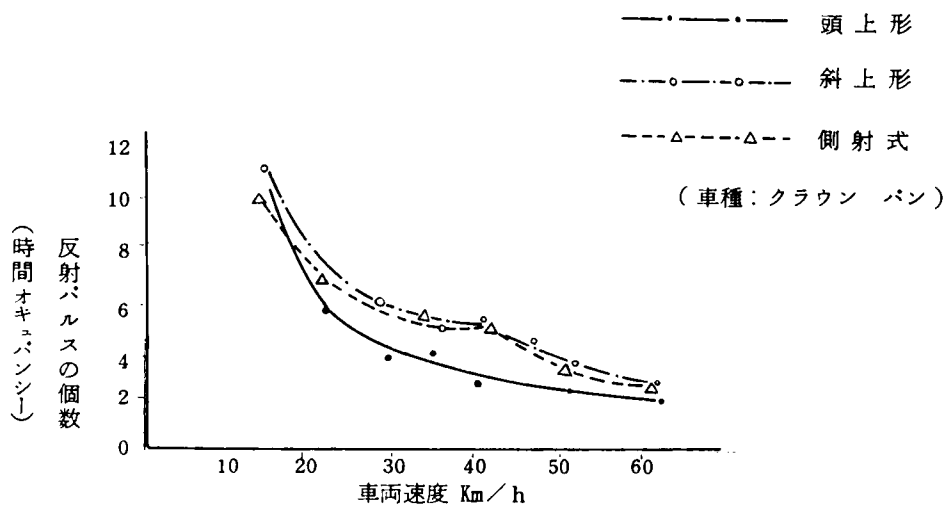


図-2-1-3 各種設置方式による反射パルス数の変化

2-1-4 車両の検知とスキャンニング

(a) スキャンニングとスキャンニング周期

2項および3項で述べたループ式車両検知器および超音波式車両検知器等の車両検知器の機能は任意の瞬間において車両がループ等の検知子上に存在しているかいないかを判別して車両検知信号を送るものである。このような車両検知器を利用する交通制御のシステムでは、主要街路網の広域制御や高速道路の交通管制システムのように多数の検知器から送られてくる交通情報に基づいて各種の判断が行なわれる。多数の車両検知器から送られてくる交通情報を効率よく収集する方法として、検知信号をスキャンニング（走査）することが通常行なわれている。スキャンニングとは各所からくる車両検知信号を1台の処理装置で計測処理するために、あらかじめ定められた順序で順次1台ごとの検知信号を調べていくことである。この過程を「走査」と呼ぶがこの走査が一巡するのに必要な時間をスキャンニング周期と呼んでいる。(4)

スキャンニング法は本質的に検知精度と情報収集効率の二律排反性を含んでいる。すなわち検知精度を上げるためにはスキャンニング周期を短くしなければならないので走査できる車両検知器の数を制限しなければならない、また多数の車両検知器を効率的に走査しようとすればスキャンニング周期が長くなり検知精度の低下が避けられなくなる。交通量の計測をループ式車両検知器や超音波式車両検知器のようなプレゼンス形の車両検知器で計測する場合スキャンニングによる検知誤差をなくすスキャンニング周期 T_θ の条件は次のとおりである。

$$T_\theta = \min [t_{\min}, \bar{t}_{\min}] \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

ただし t_{\min} は最小検知パルス巾で最小車両占有時間に対応するものであり、 \bar{t}_{\min} は最小パルス間隔すなわち最小車間時間に対応するものである。上式において t_{\min} は計測対象の交通状態によって異なり、計測されなければならない最小車両の種類とその最高速度および車両検知器の検知巾から決定されるものであり、次式によって与えられる。

$$t_{\min} = \frac{L_{\min} + \ell}{v_{\max}} \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

ただし L_{\min} : 計測すべき最小車両の車長

ℓ : 車両検知器の検知巾

v_{\max} : 当該道路において考えられる最高速度

また \bar{t}_{\min} は交通状況や道路条件によって異なる。高速道路調査会の交通流監視制御研究班においては名神高速道路豊中オフランプにおける実測例に基づいて99%以上の信頼度で約250msとしている。また t_{\min} については高速道路の本線上で96ms、オンランプおよびオフ

ランプ上で 160 m/s としている。すなわち、本線上では

$$L_{\min} = 3.0\text{ m (軽自動車)}$$

$$\ell = 1.0\text{ m}$$

$$v_{\max} = 41.67\text{ m/s (150 km/h)} \text{ として}$$

$$t_{\min} = (3.0 + 1.0) / 41.67 = 0.096\text{ sec}$$

オンランプ、オフランプ上では $v_{\max} = 25\text{ m/s (90 km/h)}$ として

$$t_{\min} = (3.0 + 1.0) / 25 = 0.16\text{ sec}$$

としている。問題として残ることは期待される車両検知器の精度と許容される計測上の誤差から本線上で $[100 \sim 250\text{ m/s}]$ 、ランプ上で $[160 \sim 250\text{ m/s}]$ の範囲で選択できるスキニング周期をいかに定めたら良いかということである。

(b) 計測過程の数値的表現

車両検知器による交通台数の計測過程を数値的に表わすと次のようになる。すなわちスキニングごとに検知器上で車両の存在が検知されれば1、存在が検知されなければ0をそれぞれ対応させ連続する1の群の数でもって交通量におきかえる。たとえば001101100011100の0-1表示をえた場合、この15スキニング周期の間に3台の車両が検知器上を通過したものとみなすわけである。ところで車両検知器からのアウトプットとして得られる0-1表示と実際の検知器上の車両の通過状態から判定される0-1表示との間には必ず差異が生じて来るものと考えられる。なぜならば超音波車両検知器の歯抜け現象や過大な出力保持時間を用いた際に見られるように、実際の車両が検知器上を占有しているにもかかわらずあるスキニングでの検知器からの出力は0となってみたり、またはその反対の場合が生じることが起り得ることは、これまでに述べた車両検知器による計測のメカニズムから考えて当然であるからである。

ここで問題となってくるのは、ある誤差が発生する可能性のある計測システムを用いた場合のアウトプットの信頼性である。具体的には0状態が1とアウトプットされる又は1の状態が0とアウトプットされる確率を認めたいうで計測台数の確からしさの程度と最適スキニングをいかに定めるかということである。そこで問題を論じるために車両検知器への到着状態または占有状態を示す交通発生確率モデルを想定し、この確率モデルを情報源とみなし中央処理装置も含めた車両検知器システムを通信路系となすことを試みれば出力情報である検知器による計測台数の確からしさを評価することが可能となってくる。以下の節ではまず車両の占有状態にマルコフ性を仮定し、車両検知器の誤りの発生確率を想定して出力情報の確からしさを議論していく。

ところで車両検知器の検知ミスの原因としては車両検知器自身のもつ機器システムの信頼性の

ほかに車両の走行方法が考えられるが問題の明確化を計るうえから本章では一車線上におかれた車両検知器のうえを車両が違いなく通過していく、理想的な一車線交通流を想定して議論を進め追越等のいわゆる異常交通を想定した交通量計測の議論は次章でとりあつかうことにする。

2-2 計測過程検討のための交通発生モデル

2-2-1 単純マルコフ連鎖

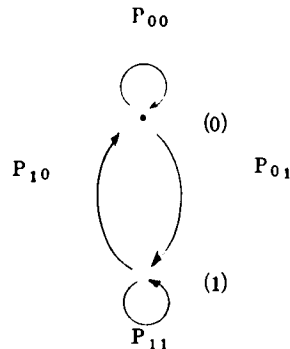
スキャンニング周期毎の車両の占有状態を2元マルコフ連鎖とみなす。前の周期の状態によって今の検知器の状態が占有状態か非占有状態にあるかの確率は明らかに異なり単純マルコフ連鎖とみなせるとするのである。占有状態の分類は占有、非占有の二種類のみで、この場合の確率マトリックスは次のように表わせる。

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix} & \begin{vmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{vmatrix} \end{matrix}$$

ここで P_{00} : 前のスキャンニングでは0で今回のスキャンニングでも0の確率

P_{01} : 前のスキャンニングでは0であったが今回のスキャンニングでは1であった確率

以下同様である。状態線図は次のようになる。



$$\begin{cases} P_{01} = p \\ P_{10} = q \end{cases} \text{ とすれば}$$

$$P = \begin{vmatrix} 1-p & p \\ q & 1-q \end{vmatrix}$$

固有値を求める。

$$\begin{aligned} P - \lambda I &= \begin{vmatrix} 1-p-\lambda & p \\ q & 1-q-\lambda \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1-\lambda & p \\ 1-\lambda & 1-q-\lambda \end{vmatrix} = (1-\lambda) \begin{vmatrix} 1 & p \\ 1 & 1-q-\lambda \end{vmatrix} \\ &= (1-\lambda)(1-p-q-\lambda) \end{aligned}$$

$$\therefore \lambda_1 = 1 \quad \lambda_2 = 1-(P+q)$$

固有ベクトルは

$\lambda_1 = 1$ に対して

$$\begin{vmatrix} 1-P & P \\ q & 1-q \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix} = 1 \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix}$$

$$\begin{cases} (1-P)x_1 + Px_2 = x_1 & \rightarrow (1-P)x_1 = (1-P)x_2 \\ qx_1 + (1-q)x_2 = x_2 & \rightarrow (1-q)x_2 = (1-q)x_1 \end{cases}$$

$$\therefore x_1 = x_2 = \alpha : \text{任意} \quad \therefore x_1 = 1, x_2 = 1$$

$\lambda_2 = 1-(P+q)$ に対して

$$\begin{vmatrix} 1-P & P \\ q & 1-q \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix} = \{1-(P+q)\} \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix}$$

$$(1-P)x_1 + Px_2 = \{1-(P+q)\}x_1 \rightarrow Px_2 = -qx_1$$

$$qx_1 + (1-q)x_2 = \{1-(P+q)\}x_2 \rightarrow qx_1 = -Px_2$$

$$\therefore x_1 = P \quad x_2 = -q$$

$$\therefore \text{固有ベクトルは } V_1 = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix}_1 \quad V_2 = \begin{vmatrix} P \\ -q \end{vmatrix}$$

$$\therefore X = \begin{vmatrix} 1 & P \\ 1 & -q \end{vmatrix}$$

$$X^{-1} = \frac{1}{P+q} \cdot \begin{vmatrix} -q & -P \\ -1 & 1 \end{vmatrix} = \frac{1}{P+q} \cdot \begin{vmatrix} q & P \\ 1 & -1 \end{vmatrix}$$

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1-P-q \end{vmatrix}$$

$$\therefore P^n = \frac{1}{P+q} \cdot \begin{vmatrix} 1 & P \\ 1 & -q \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & (1-P-q)^n \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} q & P \\ 1 & -1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{P+q} \cdot \begin{vmatrix} 1, P(1-P-q)^n \\ 1, -q(1-P-q)^n \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} q & P \\ 1 & -1 \end{vmatrix} \\
&= \frac{1}{P+q} \cdot \begin{vmatrix} q+P(1-P-q)^n & P-P(1-P-q)^n \\ q-q(1-P-q)^n & P+q(1-P-q)^n \end{vmatrix} \\
&= \frac{1}{P+q} \cdot \begin{vmatrix} q & P \\ q & P \end{vmatrix} + \frac{(1-P-q)^n}{P+q} \cdot \begin{vmatrix} P & -P \\ -q & q \end{vmatrix} \dots\dots\dots (2-9)
\end{aligned}$$

また時点 n における絶対確率 $P_n(X_n = i)$ ($i = 0, 1$) は初期分布を

$$P(X_0 = 0) = \alpha, P(X_0 = 1) = \beta \quad (\alpha + \beta = 1) \text{ とすると}$$

$$P_n(X_n = 0) = \alpha \cdot P_{00}(n) + \beta \cdot P_{10}(n)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\alpha q + \beta q}{P+q} + \frac{(1-P-q)^n}{P+q} \cdot (\alpha P - \beta q) \\
&= \frac{q}{P+q} + \frac{(1-P-q)^n}{P+q} (\alpha P - \beta q) \dots\dots\dots (2-10)
\end{aligned}$$

$$P_n(X_n = 1) = \alpha \cdot P_{01}(n) + \beta \cdot P_{11}(n)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\alpha P + \beta P}{P+q} + \frac{(1-P-q)^n}{P+q} (-\alpha P + \beta q) \\
&= \frac{P}{P+q} + \frac{(1-P-q)^n}{P+q} (-2P + \beta q) \dots\dots\dots (2-11)
\end{aligned}$$

通常の交通量計測のサンプリング時間は少なくとも 5 分以上で、スキューニング周期に対して非常に大となっている。したがって n 無限大の場合を想定した定常確率を主として考えてもよいと考えられる。定常確率 $P(X=0)$ および $P(X=1)$ はそれぞれ次式で与えられる。

$$P(X=0) = \frac{q}{P+q} : \text{車両非占有時間比} \dots\dots\dots (2-12)$$

$$P(X=1) = \frac{P}{P+q} : \text{車両占有時間比 (オキュパンシー)} \dots\dots (2-13)$$

また計測台数はもし検知器が完全に占有の状態を再現するとすれば、非占有の直後の占有状態（0 0 1 の 1）又は占有状態終了直後の非占有状態（1 1 1 0 の 0）の数に等しいから計測時間内のスキューニング回数を N とすれば

$$\text{交通量} = N \cdot P(X=0) \cdot P_{01} = N \cdot \frac{q}{P+q} \cdot P = \frac{Pq}{P+q} \cdot N$$

$$\text{又は } N \cdot P(X=1) \cdot P_{10} = N \cdot \frac{P}{P+q} \cdot q = \frac{Pq}{P+q} \cdot N$$

したがって、ある交通流から得られる観測資料から P および q を推定するには、交通量、オキュパンスーをそれぞれ Q 、 v とすれば

$$\frac{P}{P+q} = Q$$

$$\frac{Pq}{P+q} = v \quad (\text{但し } v \text{ はスキューニング周期当りの平均到着台数})$$

$$\text{から } P = \frac{v}{1-Q} \quad q = \frac{v}{Q} \quad \dots\dots\dots (2-14)$$

上記のモデルを用いて検知器の信頼性や利用の拡張性を検討するには、モデル自体の中で通常のスキューニング周期の車間時間では起りえない 1 1 1 0 1 1 等の占有状態発生可能性があること、および占有の継続状態すなわち車種と速度の分布状態が交通量とオキュパンスーのみで定まり不自然である点からさらにモデルの拡張が望ましい。ただし以上の検討の結果からマルコフ過程を仮定する場合定常確率のみで検討を進めた方が实际的であると考えられるので以下のモデルでは次式によって極限分布を求める。

$$\text{すなわち推移確率: } P_{ij} = P(X_{n-1}=i) (X_n=j)$$

$$\text{定常確率: } P_i \quad (i, j = 1 \dots r)$$

とすれば推移確率の定義式から

$$\sum_{i=1}^r P_i \cdot P_{ij} = \sum_{i=1}^r P \{X_{n-1}=i\} \frac{P \{ (X_{n-1}=i) \cap (X_n=j) \}}{P \{X_{n-1}=i\}}$$

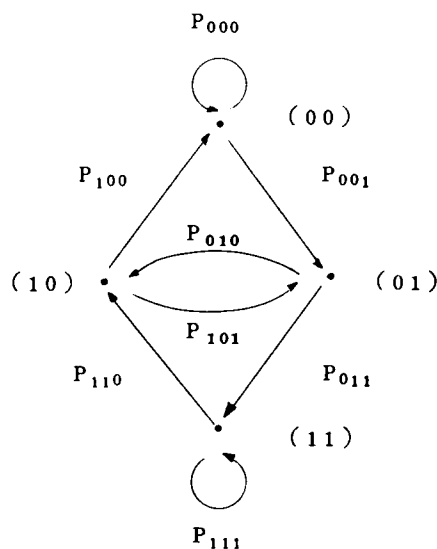
$$= P \{ X_n = j \} P_j \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

2-2-2 二重マルコフ連鎖

検知器から送られてくる0又は1の情報を相連なる二つについて同時に注目すれば次の四つの状態が考えられる。

車両非占有期間	0 0
前期遷移期間	0 1
後期遷移期間	1 0
車両占有期間	1 1

連続して送られる0 1情報を二つずつ注目し、スキャンニングのたびに逐次1つずつシフトさせていくことを考えると状態の遷移は下図の状態線図によって示されるパターンに従う。たとえば0 0の次はその次に送られて来る情報が0か1によって0 0または0 1となり決して1 0とならない。



このようにしてスキャンニング周期毎の車両の占有状態が、その直前の二つの占有状態に支配されるとみなす二重マルコフ連鎖を、相連なる二つの占有状態を二次元ベクトルと考えて一重マルコフ連鎖にもどしたことになる。推移確率は次のとおりである。

$$P = \begin{array}{c|cccc} & (00) & (01) & (10) & (11) \\ \hline (00) & P_{000} & P_{001} & 0 & 0 \\ (01) & 0 & 0 & P_{010} & P_{011} \\ (10) & P_{100} & P_{101} & 0 & 0 \\ (11) & 0 & 0 & P_{110} & P_{111} \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{001} = P \\ P_{011} = q \\ P_{100} = r \\ P_{110} = S \end{array} \right.$$

とすれば

$$P = \begin{array}{c|cccc} & (00) & (01) & (10) & (11) \\ \hline (00) & 1-P & P & 0 & 0 \\ (01) & 0 & 0 & 1-q & q \\ (10) & r & 1-r & 0 & 0 \\ (11) & 0 & 0 & S & 1-S \end{array} \quad \begin{array}{l} : P(X=00) = a \\ : P(X=01) = b \\ : P(X=10) = c \\ : P(X=11) = d \end{array}$$

(a)と同じく定常確率を求め定常確率と交通量、オキュパンスーの関係から推移確率を推定する。まず定常確率 P_{00} P_{01} P_{10} P_{11} をそれぞれ a 、 b 、 c および d とすれば (2-15) より

$$\left\{ \begin{array}{ll} a(1-P) + c r = a & a P = c r \\ a P + c(1-r) = b & \therefore a P + c - c r = c r + c - c r = c = b \\ b(1-q) + d S = c & \\ b q + d(1-S) = d & b q = d S \end{array} \right.$$

および $a + b + c + d = 1$ より

$$a + \frac{P}{r} a + \frac{P}{r} a + \frac{P q}{r S} a = \frac{a}{r S} (r S + 2 P S + P q)$$

$$\therefore a = \frac{r S}{r S + 2 P S + P q}$$

$$b = c = \frac{P S}{r S + 2 P S + P q}$$

$$d = \frac{P q}{r S + 2 P S + P q}$$

..... (2-16)

オキュバンシーと交通量をそれぞれQおよびvとすれば

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = \frac{1}{2}b + \frac{1}{2}c + d = \frac{PS + Pq}{rS + 2PS + Pq} = \frac{P(S + q)}{rS + 2PS + Pq} \quad \dots\dots\dots (2-17) \\ v = b = c = \frac{PS}{rS + 2PS + Pq} \quad \dots\dots\dots (2-18) \end{array} \right.$$

ここでP、qをr、SおよびQ、vで表わすと次のようになる。すなわち式(2-18)から

$$q = \frac{S}{vP} (P - vr - 2vP)$$

これを式(2-17)に代入して

$$Q \left\{ rS + 2PS - P \frac{S}{vP} (P - vr - 2vP) \right\} = P \left\{ S + \frac{S}{vP} (P - vr - 2vP) \right\}$$

これより

$$\left\{ \begin{array}{l} P = \frac{r \cdot v}{1 - Q - v} \\ q = \frac{S(Q - v)}{v} \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (2-19)$$

ここでrは連続する三つのスキャンニングで得られる数列が101とならない確率で通常用いられている100ms程度のスキャンニング周期では歯抜け現象がないかぎり、図-2-14⁽⁴⁾の車間時間の分布をみれば明らかにr=1としてさしつかえないと考えられる。またSは1が連続していかない確率であるから車種による車長と速度分布に関係し車種分布に関しており、推定は容易である。

観測日時： 昭和45年7月27日（月）
17:30～19:25

観測場所： 名神高速道路
豊中インターチェンジ上りオフ
ランプ

交通量： 2,340台/時

有効道路巾：約4m

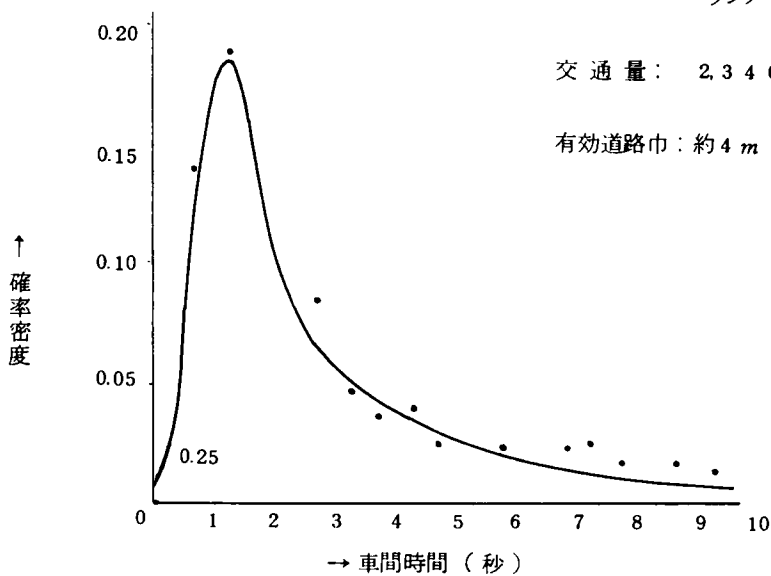


図-2-14 車間時間実測例

さて、式(2-16)に式(2-19)の P_q を代入すると

$$rS + 2PS + Pq = rS + P(2S + q)$$

$$= rS + \frac{rS}{1-Q-v} \left\{ 2S + \frac{S(Q-v)}{v} \right\} = \frac{rS}{1-Q-v}$$

であるから

$$\left. \begin{aligned}
 a &= \frac{rS}{rS + 2PS + Pq} = 1 - Q - v \\
 b &= \frac{PS}{rS + 2PS + Pq} = \frac{r v}{1 - Q - v} \cdot S \cdot \frac{1 - Q - v}{rS} = v \\
 d &= \frac{Pq}{rS + 2PS + Pq} = \frac{r v}{1 - Q - v} \cdot \frac{S(Q - v)}{v} \cdot \frac{1 - Q - v}{rS} = Q - v
 \end{aligned} \right\} (2-20)$$

したがって単純マルコフモデルの場合と同様に定常状態における各状態の発生確率は次のように整理される。

$$\left. \begin{aligned}
 \text{車両非占有期間} \quad (00) \dots\dots\dots P(X=00) &= a = 1 - Q - v \\
 \text{前期遷移期間} \quad (01) \dots\dots\dots P(X=01) &= b = v \\
 \text{後期遷移期間} \quad (10) \dots\dots\dots P(X=10) &= c = v \\
 \text{車両占有期間} \quad (11) \dots\dots\dots P(X=11) &= d = Q - v
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (2-21)$$

当然のことながら

$$\left\{ \begin{aligned}
 \text{交通量} : v &= b = c = v \\
 \text{オキュパンシー} : Q &= \frac{1}{2}b + \frac{1}{2}c + d = \frac{1}{2}(v + v) + Q - v = Q
 \end{aligned} \right.$$

式(2-21)は交通量の計測過程は相前後する0-1表示の中から(01)又は(10)の回数を数えることと対応していることを示している。問題はこの遷移状態の表示が得られたときそれがどの程度確からしいかということである。計測の誤りはたとえば(111)のような占有状態が漏抜けのため(101)となり、結果として後の二つの0-1表示によって示される(01)の表示のため遷移状態と判定されることに起因する。したがって交通量計測の過程を追跡するには二つの連続する0-1表示を、またその確からしさを求めるには三つ以上の連続する表示を検討することが必要になっている。二重マルコフ過程を用いた交通発生モデルにおいて定常状態における三連続0-1表示の発生確率は次のように求められる。

$$\left\{ \begin{aligned}
 P(X=000) &= P(X=00) \cdot (1-P) = (1-Q-v) \cdot \left(1 - \frac{r v}{1-Q-v}\right) \\
 &= 1 - Q - v(1+r)
 \end{aligned} \right.$$

$$\begin{aligned}
P(X=001) &= P(X=00) \cdot P = (1-Q-v) \cdot \frac{rv}{1-Q-r} = rv \\
P(X=010) &= P(X=01) \cdot (1-q) = v \left\{ 1 - \frac{S(Q-v)}{v} \right\} = v - S(Q-v) \\
P(X=011) &= P(X=01) \cdot q = v \frac{S(Q-v)}{v} = S(Q-v) \\
P(X=100) &= P(X=10) \cdot r = vr \\
P(X=101) &= P(X=10) \cdot (1-r) = v(1-r) \\
P(X=110) &= P(X=11) \cdot S = S(Q-v) \\
P(X=111) &= P(X=11) \cdot (1-S) = (1-S)(Q-v)
\end{aligned}$$

上式に示される三連続0-1表示の前および後の二連続0-1表示に注目して整理すれば式(2-21)に示される二連続0-1表示の定常確率に相前後する推移の状態が図-2-15のように示される。

前項で記したように検知器のアウトプットの0のところは1とされたり1のところは0とアウトプットされる状態が二つ連続するスキニングにまたがって発生することは非常にまれであるとしても実際上問題はないと考えられるので、交通台数計測における誤りの確率を議論するうえではここに示される二重マルコフ連鎖で仮定した交通発生モデルを基礎にすれば十分であろう。また三重またはそれ以上のマルコフ連鎖を想定して推移確率マトリックスの各要素を、二重マルコフ連鎖の場合の r および S のように推定して求める場合、その数が多くなりすぎるきらいもあり、あまりにも多い仮定の積み重ねになり好ましくない。

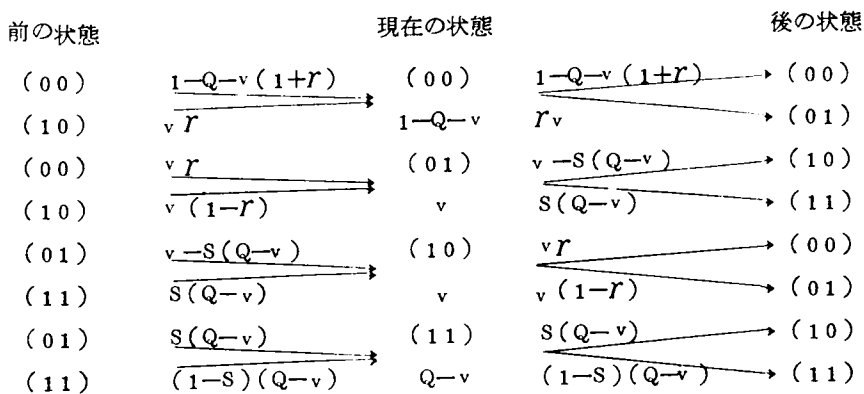


図-2-15 二連続0-1表示の推移と確率の状態

2-2-3 推移確率要素の推定

名神高速道路豊中オフランプにおける実測例からみて高速道路調査会交通流監視制御委員会では車間時間は信頼度 99% 以上で 250 m S であるとしている。したがって前項において式 (2-19) と併記して述べたように $r=1$ として

$$P = \frac{r \cdot v}{1 - Q - v} = \frac{v}{1 - Q - v}$$

と定めて問題はないものと考えられる。P、q、r、および S は

$$\begin{cases} P = \frac{v}{1 - Q - v} \\ q = \frac{Q - v}{v} \cdot S \\ r = 1 \\ S : \end{cases}$$

となり問題は S をいかに定めるかになってくる。ここで S は前述したように車長と車種分布およびスキッピング周期に関係している。すなわち車両が到着したという条件のもとで、いいかえれば二連続 0-1 表示によって (01) の状態から車両占有状態が 2 スキッピング周期続く確率は qS でありさらに 3 スキッピング周期、4 スキッピング周期続く確率はそれぞれ $qS(1-S)$ 、 $qS(1-S)^2$ となり n スキッピング周期続く確率 P_n は

$$P_n = qS(1-S)^{n-2}$$

ただし $n \geq 2$ (当然 $P_1 = 1 - q$)

いま $n \geq N$ なる確率 $P(n \geq N)$ を求めると

$$\begin{aligned} P(n \geq N) &= qS(1-S)^{N-2} \sum_{i=1}^{\infty} (1-S)^i \\ &= qS(1-S)^{N-2} \frac{1}{1 - (1-S)} \\ &= q(1-S)^{N-2} \quad (N \geq 2) \end{aligned}$$

当然のことながら

$$P(n \geq 1) = P_1 + P(n \geq 2) = 1 - q + q = 1$$

ところで表-2-2⁽⁵⁾に示す車種別の車長と検知器の巾からみて車長と検知巾の和を大型車の場合 8 m、小型車の場合を 5 m と仮定し表-2-3 に示すような速度実測の例に基づいて車種別による占有時間分布を計算すると占有時間の大小によって車種別の分類がかなりの精度で求められることがわかる。すなわち図-2-16 の(A)で大型、小型別の速度の発生頻度は確かに小型車のほうが高い速度にずれて分布していることは明らかであるが、ある特定の車の速度のみを測定してその車が大型車か小型車であるかを判定することはほとんど不可能である。図-2-16 の(B)では誤りの確率を 0.5 % 以下で車両占有時間の測定のみで大型車と小型車の判別をつけることができる。図-2-16 の場合では占有率が 0.29 秒以下の場合が小型車、0.29 秒以上の場合が大型車といってほぼ間違いない。

表-2-2 車種別の交通量比と車長 (京都南～茨木上り線：昭和45年9月)

車 種	車 長 (m)	交通量比率(%)
小型乗用車、軽乗用車	4.0	57.8
普通乗用車	5.0	1.6
小型貨物、軽自動車	4.1	17.7
普通貨物(2車軸)	6.7	4.9
普通貨物トレーラー(3、4車軸)	7.6	0.7
同 上 (5車軸以上)	10.0	0.1
路線バス	10.0	0.5
観光バス(定員30人以上)	10.0	1.7
マイクロバス(定員11人～29人)	5.5	0.4
普通貨物(3車軸以上)	10.2	7.2
業務用車両	5.0	0.4

もちろんこの大型小型の判別境界値(τ_1)は道路と交通の条件によって異なることは当然であるが、道路条件が固定されれば交通量と速度またはオキュパンシーと速度の関係を実測値から求めておけば簡単な試算で求めることができる。

さてSの値の設定の方法であるが、今考えているモデルでは車両占有時間の分布を図-2-16-(B)のように車種別による二重ピークをもった分布型にもっていくことは不可能であるが、少なくとも車種判別境界値(τ_1)以上の車両占有時間の発生確率を大型車の混入率と等しくすることは可能である。すなわち τ をスキャンニング周期とすれば τ_1/τ に最も近い整数を N_1 とする。さらに大

(註)

表一 2 - 3 高速道路における車種別の速度と占有時間

速度範囲 (Km / h)	中央値 (m / sec)	速度観測台数 (台)			車両占有時間 (秒)	
		小型車	大型車	合計	5 m の 場 合	8 m の 場 合
55 ~ 60	15,972	1 (0.43)	2 (0.86)	3 (1.29)	0.313	0.500
60 ~ 65	17,361	0 (0)	7 (3.02)	7 (3.02)	0.288	0.461
65 ~ 70	18,750	6 (2.59)	16 (6.90)	22 (9.49)	0.267	0.427
70 ~ 75	20,139	14 (6.03)	8 (3.46)	22 (9.49)	0.248	0.397
75 ~ 80	21,528	32 (13.79)	34 (14.76)	66 (28.55)	0.232	0.371
80 ~ 85	22,917	18 (7.66)	5 (2.16)	23 (9.82)	0.218	0.349
85 ~ 90	24,306	18 (7.66)	21 (9.15)	39 (16.81)	0.206	0.330
90 ~ 95	25,694	9 (3.88)	5 (2.16)	14 (6.04)	0.194	0.310
95 ~ 100	27,083	12 (5.17)	6 (2.58)	18 (7.75)	0.185	0.296
100 ~ 105	28,472	3 (1.29)	1 (0.43)	4 (1.72)	0.176	0.281
105 ~ 110	29,861	10 (4.31)	0 (0)	10 (4.31)	0.167	—
110 ~ 115	31,250	3 (1.29)	0 (0)	3 (1.29)	0.160	—
115 ~ 120	32,639	0 (0)	0 (0)	0 (0)	—	—
120 ~ 125	34,028	0 (0)	0 (0)	0 (0)	—	—
125 ~ 130	35,416	1 (0.43)	0 (0)	1 (0.43)	0.145	—
計		127 (54.53)	105 (45.47)	232 (100)		

註 速度観測は昭和46年1月18日、名神高速道路京都南茨木間の新幹線との立体交差付近の直線平坦部でレーダースピードメーターを用いて得た実測値。

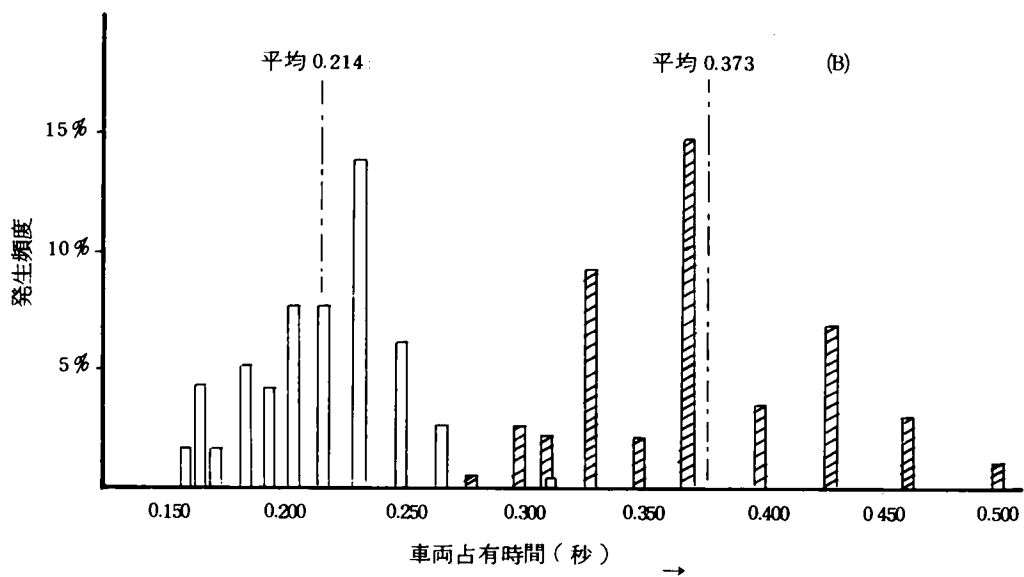
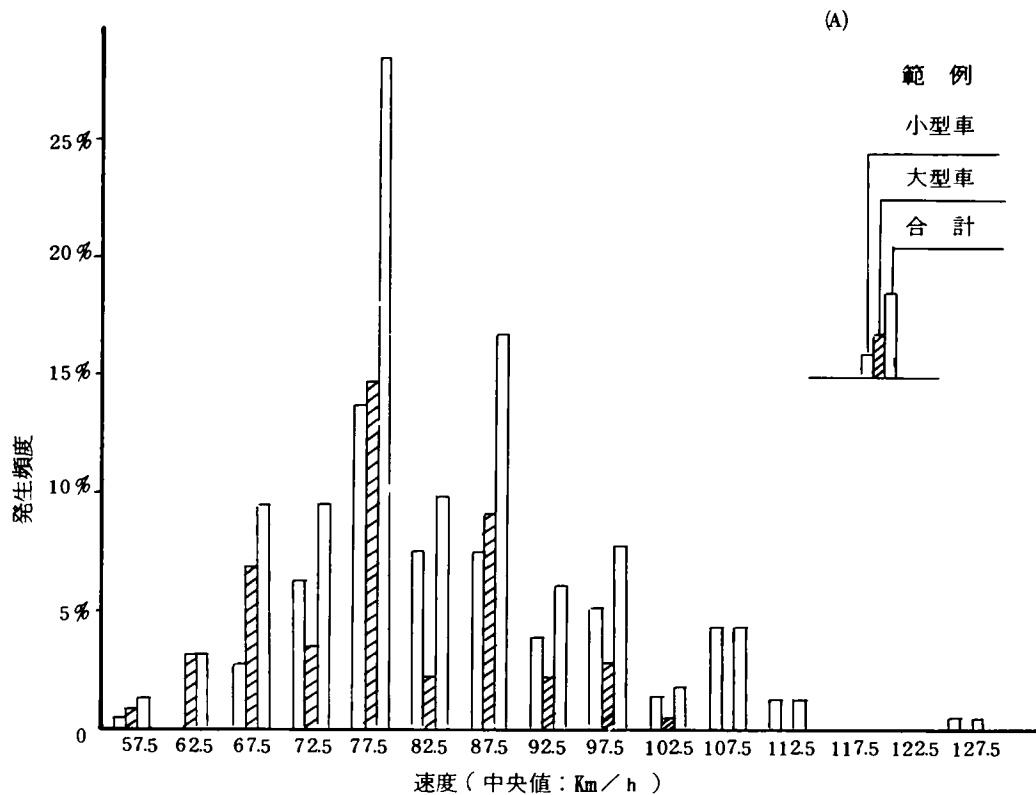


図-2-16 高速道路における車種別の速度と占有率の頻度分布の別

型車混入率をTとすれば

$$P(n \geq N_t) = q(1-S)^{N_t-2} = T/100 = T'$$

$$q = \frac{Q-v}{v} S \text{ であるから}$$

$$\frac{Q-v}{v} S(1-S)^{N_t-2} = T'$$

$$\text{これを变形して } (1-S)^{N_t-2} = \frac{v T'}{Q-v} \cdot \frac{1}{S} \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

表一2-4 からみて実際のスキヤンニング周期は0.05秒から0.200秒であり、(1-S)についていえばただか4乗までを考えればよいから式(2-22)の右辺のうち交通条件から求められる $\frac{v T'}{Q-v}$ を計算し図一2-17のような計算図表または多少のトライアルでSを求めることができる。

表一2-4 スキヤンニング周期施例

地 名	スキヤンニング周期
名神高速道路	50mS (0.05秒)
阪神高速道路	10mS (0.01秒)
首都高速道路	200mS (0.20秒)
埼 玉	50mS (0.05秒)
神 奈 川	100mS (0.10秒)
名 古 屋	50mS (0.05秒)
東 京	50mS (0.05秒)
福 岡	50mS (0.05秒)

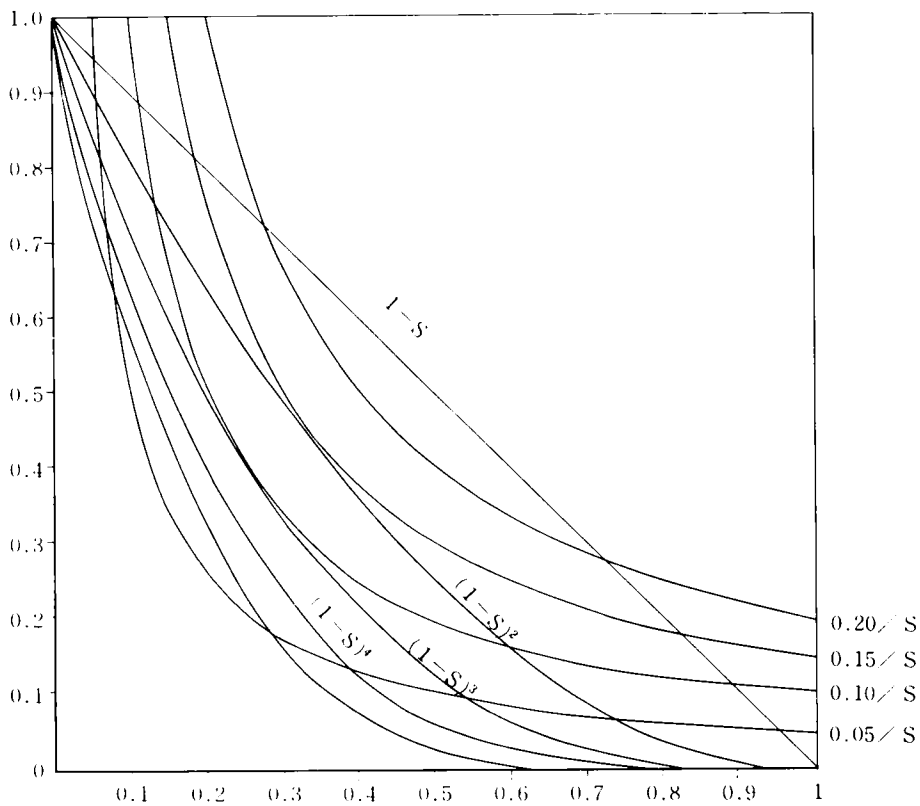


図-2-17 Sの計算図表

以上の結果から、交通流から得られる交通量、オキュパンスーおよび大型車混入率と二重マルコフ連鎖モデルにおける推移確率の関係は次のようにまとめられる。

$$\left\{ \begin{array}{l} P = \frac{v}{1 - Q - v} \\ q = \frac{Q - v}{v} \cdot S \\ r = 1 \\ (1 - S)^{Nt-2} = \frac{v \cdot T'}{Q - v} \cdot \frac{1}{S} \end{array} \right. \dots\dots\dots (2-23)$$

2-3 計測過程の確率モデル

2-3-1 計測過程のモデル

2-1で述べたように車両検知器のアウトプットには二種類の誤りを犯す可能性がある。一つは検知器上を車両が通過中で占有状態であるにもかかわらずそのスキャンニングにおけるアウトプットは0と出る誤りであり、他の一つは出力保持時間内にスキャンニングが行なわれた場合等に発生する、非占有状態が1と検知される誤りである。前者を正の誤り、後者を負の誤りとする。計測過程の確率モデルを作るにあたって次の仮定を設ける。

- (1) 負の誤りは出力保持時間のとりかたから考えて、車両占有状態の直後に1回のみ発生する。
- (2) 二連続0-1表示のにおいては上記の仮定から、正および負の誤りが同時に発生することはない。

以上の仮定は2-1で述べた計測過程の実際からみて無理のないものであろう。また実際の車道に設けられた検知器においては隣接車線上を走行する車両の影響等で当車線の検知器自体は占有状態ではないのに1をアウトプットする負の誤りが発生する場合が多いが、この様な現象については3章で検討を行なう。

さて正および負の誤りを定義づけたが、これらの誤りが発生したとしても必ずしも車両計測上では、計測台数の過不足が1対1で発生するとはかぎらない。たとえば001110という0-1数列上で正の誤りが三番目のスキャンニングで発生したとしても00 $\dot{0}$ 110と変って計測台数は1台で変わらないからである。表-2-5は車両の占有状態とそれに対応した誤りの可能性とその発生確率および仮定に基づいた理由づけを示し、さらに計測台数の誤りが起る状態とその発生確率も含めて示したものである。表中 α および β はそれぞれ正および負の誤りの発生確率を示し、台数計測誤差確率の値は図-2-15の推移確率を参照して求めたものである。

表-2-5に示される計測誤差確率に過不足台数を乗じ、さらに対応する占有状態の発生確率を乗じて加えると0-1表示に基づいた台数計測における誤差の期待値を求めることができる。また過不足台数を示す1または-1の絶対値を考えれば絶対誤差も評価することができる。

表一 2-5 計測台数の誤りが発生する過程

占有状態	誤りの可能性	発生確率	発 生 理 由	台数計測に及ぼす影響	計測誤差確率	過不足台数
(00)	$\begin{pmatrix} \cdot \\ 10 \end{pmatrix}$	$\beta \vee r$	前の状態が(10)(発生確率: $\vee r$)のとき負の誤りにより(11)となり現在の状態に移行	(100)か $\begin{pmatrix} \cdot \\ 110 \end{pmatrix}$ と変化しても計測台数には変化なし	—	—
(01)	$\begin{pmatrix} \cdot \\ 00 \end{pmatrix}$	α	歯抜け現象による。	後の車両占有状態が(10)のとき(010)が(000)となり計測数は1減少	$\{\vee - S(Q - \vee)\}\alpha$	-1
(01)	$\begin{pmatrix} \cdot \\ 11 \end{pmatrix}$	$\vee(1-r)\beta$	前の状態が(10){発生確率: $\vee(1-r)$ }のとき負の誤りにより(11)となり現在の状態に移行	(101)が $\begin{pmatrix} \cdot \\ 111 \end{pmatrix}$ となり計測数は1減少($r=1$ のときこの種の誤りはない)	$\vee(1-r)\beta$	-1
(10)	$\begin{pmatrix} \cdot \\ 00 \end{pmatrix}$	α	歯抜けによる正の誤りの発生	前の占有状態が(01)のとき(010)が(000)となり計測台数は1減少	$\{\vee - S(Q - \vee)\}\alpha$	-1
(10)	$\begin{pmatrix} \cdot \\ 11 \end{pmatrix}$	β	後の状態が(10){発生確率: $\vee(1-r)$ }のとき負の誤りにより(11)となり現在の状態に移行	(101)が $\begin{pmatrix} \cdot \\ 111 \end{pmatrix}$ となり計測数は1減少($r=1$ のときこの種の誤りはない)	$\vee(1-r)\beta$	-1
(11)	$\begin{pmatrix} \cdot \\ 10 \end{pmatrix}$	α	歯抜け現象による正の誤りの発生	後の占有状態が(11)の場合 $\begin{pmatrix} \cdot \\ 101 \end{pmatrix}$ となり計測台数は1増加	$(1-S)(Q-\vee)\alpha$	+1
(11)	$\begin{pmatrix} \cdot \\ 01 \end{pmatrix}$	α	同 上	前の占有状態が(11)の場合 $\begin{pmatrix} \cdot \\ 101 \end{pmatrix}$ となり計測台数は1増加	$(1-S)(Q-\vee)\alpha$	+1
(11)	$\begin{pmatrix} \cdot \\ 00 \end{pmatrix}$	α^2	同 上	前および後の占有状態が(11)の場合 $\begin{pmatrix} \cdot \\ 1001 \end{pmatrix}$ となり計測台数は1増加	$(1-S)^2(Q-\vee)^2\alpha^2$	+1

2-3-2 確率モデルによるスキヤニング周期の評価

(a) 期待値による評価

上に記した計測誤差の求め方に従って整理すると次表のようになる。

表-2-6 計測誤差の期待値の計算

占有状態	① 占有状態 の発生確率	② 計測誤差確率	③ 過不足台数	④ 計測誤差期待値の計測 =①×②×③
(00)	$1-Q-v$	0	0	0
(01)	v	$\{v-S(Q-v)\}\alpha$	-1	$-v\{v-S(Q-v)\}\cdot\alpha$
(01)	v	$v(1-r)\cdot\beta$	-1	$-v^2(1-r)\beta$
(10)	v	$\{v-S(Q-v)\}\alpha$	-1	$-v\{v-S(Q-v)\}\alpha$
(10)	v	$v(1-r)\beta$	-1	$-v^2(1-r)\beta$
(11)	$Q-v$	$(1-S)(Q-v)\cdot\alpha$	+1	$+(1-S)(Q-v)^2\alpha$
(11)	$Q-v$	$(1-S)(Q-v)\cdot\alpha$	+1	$+(1-S)(Q-v)^2\alpha$
(11)	$Q-v$	$(1-S)^2(Q-v)^2\alpha^2$	+1	$+(1-S)^2(Q-v)^3\cdot\alpha^2$

計測誤差の期待値を $E(R)$ とすれば表-2-6 の最右欄を集計して

$$E(R) = 2(1-S)(Q-v)^2\alpha - 2v\{v-S(Q-v)\}\alpha - 2v^2(1-r)\beta + (1-S)(Q-v)^3\cdot\alpha^2 \quad \dots\dots\dots (2-24)$$

誤差の絶対値は同様にして

$$E(|R|) = 2(1-S)(Q-v)^2\cdot\alpha + 2v\{v-S(Q-v)\}\alpha + 2v^2(1-r)\beta + (1-S)(Q-v)^3\cdot\alpha^2 \quad \dots\dots\dots (2-25)$$

通常のスキャニング周期においては $r=1$ であり、また $(Q-v)^3\cdot\alpha^2$ も α の値が 2-1-3 の図-2-9 で示されるように 1/80 前後と考えれば無視できる値と考えられるので、上記の 2 式の近似式として

$$E(R) = 2(1-S)(Q-v)^2\cdot\alpha - 2v\{v-S(Q-v)\}\alpha \\ = 2\alpha\{(1-S)Q^2 + Qv(3S-2) - 2Sv^2\} \quad \dots\dots\dots (2-26)$$

$$E(|R|) = 2(1-S)(Q-v)^2\alpha + 2v\{v-S(Q-v)\}\alpha \\ = 2\alpha\{(1-S)Q^2 + Qv(S-2) + v^2 + 2Sv^2\} \quad \dots\dots\dots (2-27)$$

またスキャンニング周期を τ (sec) 計測時間を T_m (sec) とすれば計測時間 T_m (sec) における計測の誤差および絶対誤差の期待値を E および $|E|$ とすれば

$$E = \frac{T_m}{\tau} E(R) \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

$$|E| = \frac{T_m}{\tau} E(|R|) \quad \dots\dots\dots (2-29)$$

誤差率および絶対誤差率を r 、 $|r|$ とし % 標示を行なえばそれぞれ次式で与えられる。

$$r = 100 \times \frac{E(R)}{v} \quad \dots\dots\dots (2-30)$$

$$|r| = 100 \times \frac{E(|R|)}{v} \quad \dots\dots\dots (2-31)$$

車線当りの時間交通量 500、1000、および 1500 (台/時) に対応する計測誤差、単位時間当りの計測誤差および誤差率の期待値を上記の各式を用いて試算しプロットしたものが図-2-22、図-2-23 および図-2-24 である。すなわち図-2-23 は式 (2-26) と式 (2-27) で規定したスキャンニング周期当りの誤差および絶対誤差の期待値 ($E(R)$ および $E(|R|)$) を $10^{-3} \alpha$ の単位でプロットしたものであり、図-2-23 は式 (2-28) と式 (2-29) で定めた E および $|E|$ を $T_m = 3600$ 秒として計算した単位時間当りの計測誤差台数および絶対計測台数を α の単位でプロットしたものである。さらに図-2-24 は式 (2-30) と式 (2-31) で定めた誤差率と絶対誤差率の期待値を α (%) の単位でプロットしたものである。いずれの試算においても大型車混入率 T はどのケースにおいても、図-2-18 から図-2-21 までの交通量とオキュパンシーの関係が観測された昭和 44 年 12 月から 45 年 1 月までの大型車の平均混入率を参考文献-(6) から求めて 20 % にとっている。また交通量とオキュパンシーの関係は図-2-22 から図-2-24 を通じて (A) が豊中の上下および茨木の上り本線上から得られたオキュパンシー—交通量に対応した値をとっており、時間交通量 500、1000 および 1500 に対してそれぞれ 3.3 %、6.7 % および 10 % の値を用い、(B) については茨木下り本線検知器からのデータを参考にして (A) と同じ交通量に対して 4.5 %、9 % および 13 % の値を用いている。(7)

試算の結果は $E(R)$ 、 E 、および r については、ケース (A) では 150 m/s 付近で ± 0 となり、(B) では 125 m/s 付近で ± 0 となっている。スキャンニング周期がこの 0 ポイント以下であれば本モデルでは正の誤りによるオーバーカウントが誤りの要因の大部分を占め、0 ポイント以上にス

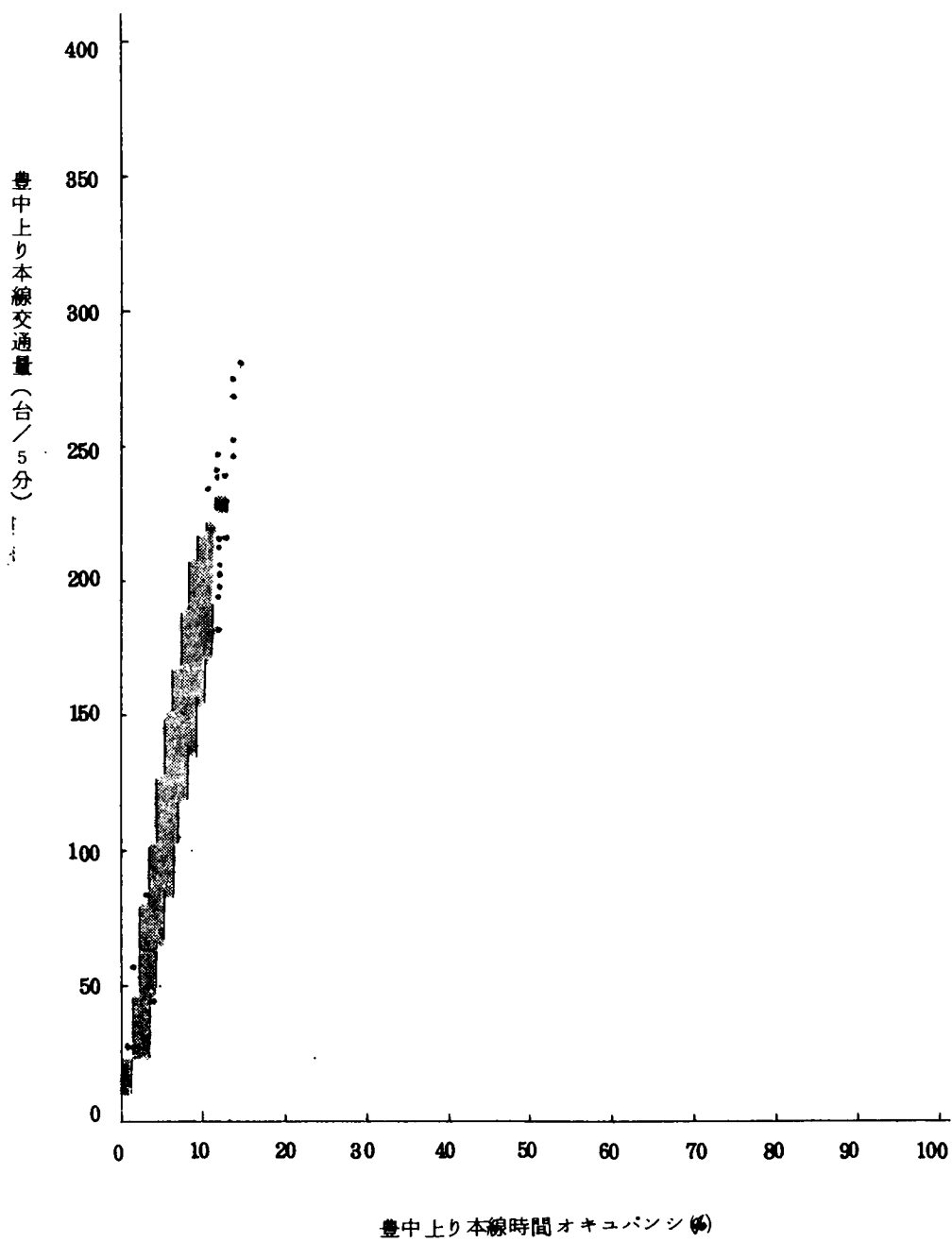


図-2-18 豊中上り本線 時間オキュパンシー交通量

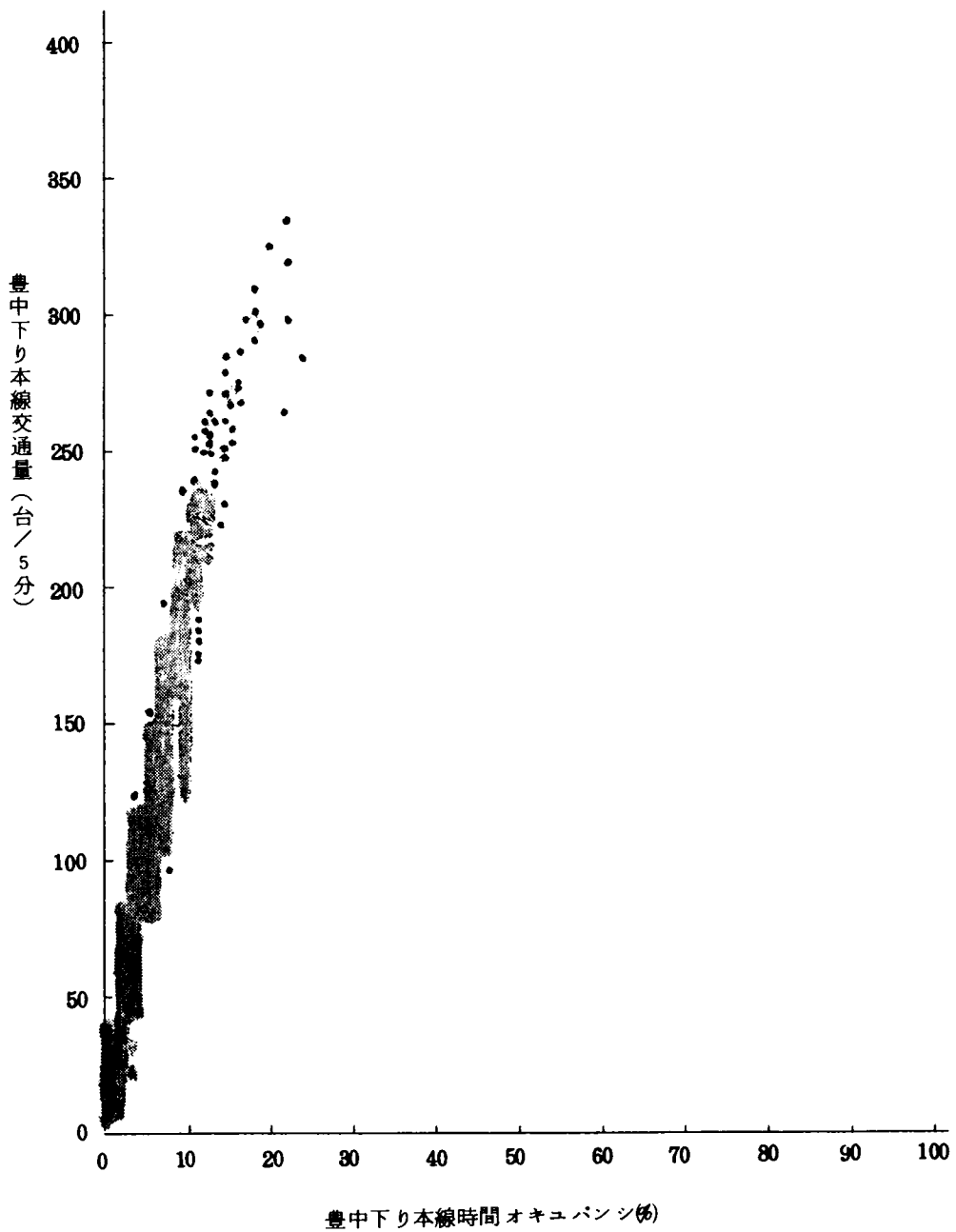
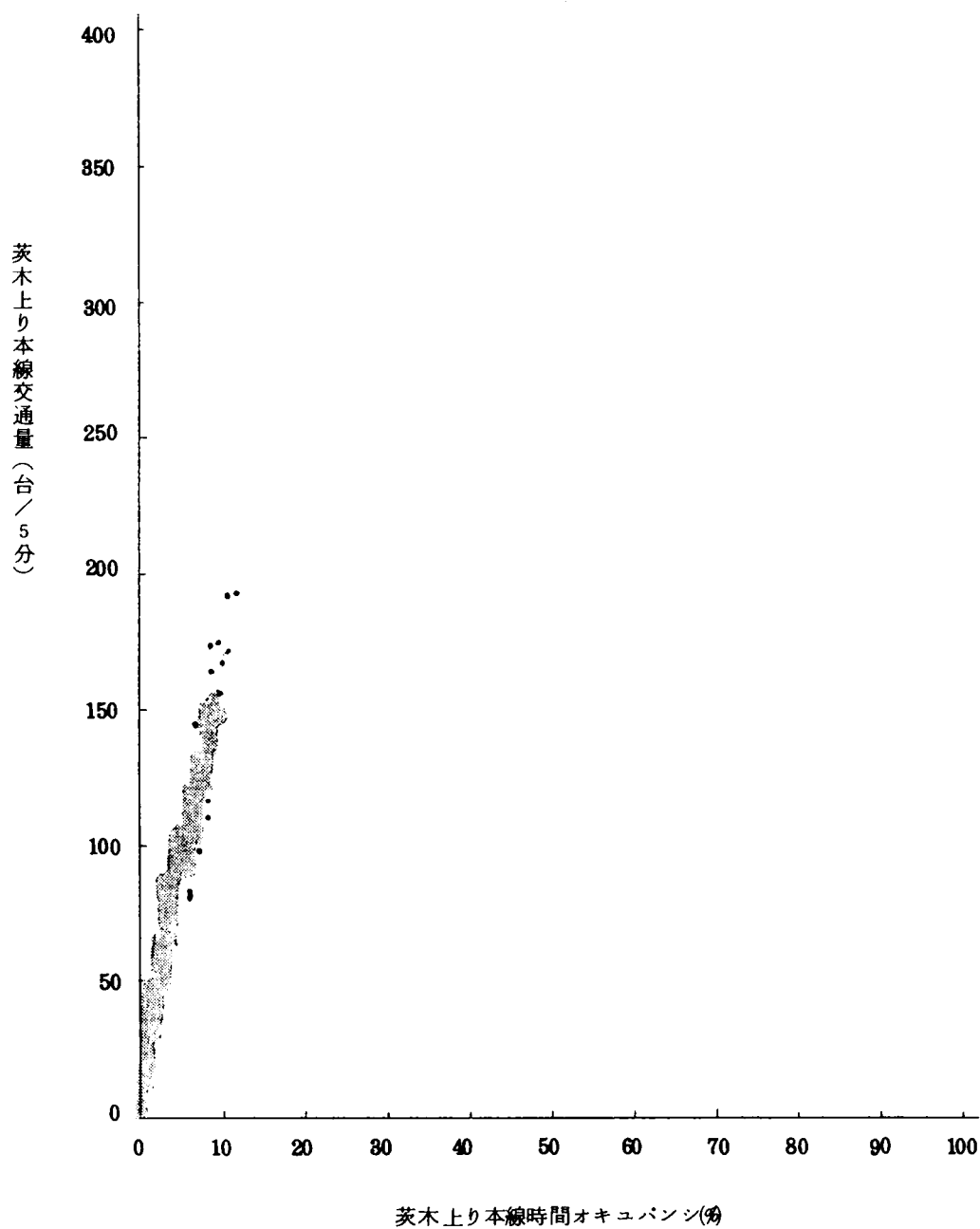


図-2-19 豊中下り本線 時間オキュパンシー交通量



図一 2 - 2 0 茨木上り本線 時間オキュパンシー交通量

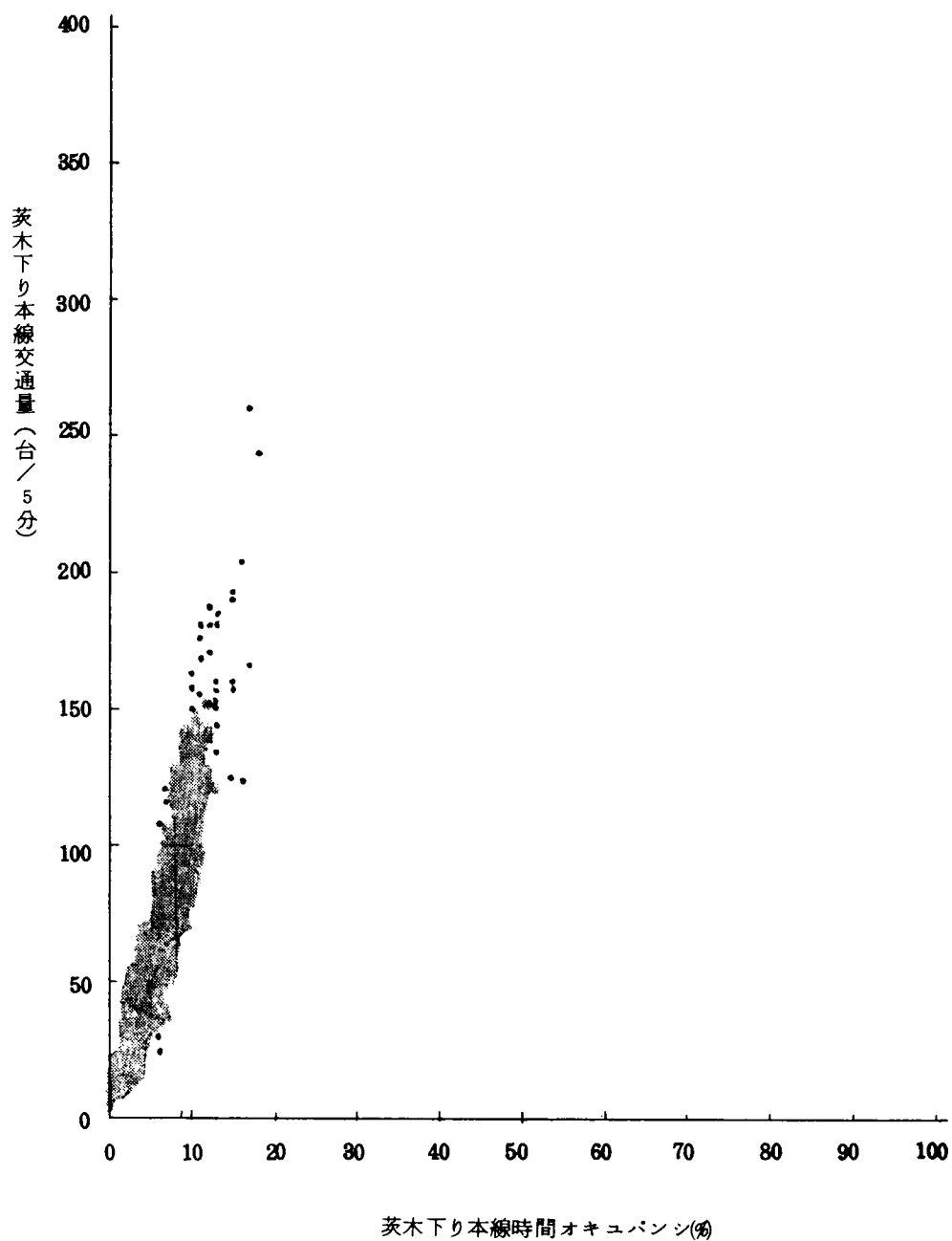


図-2-21 茨木下り本線 時間オキュパンシー交通量

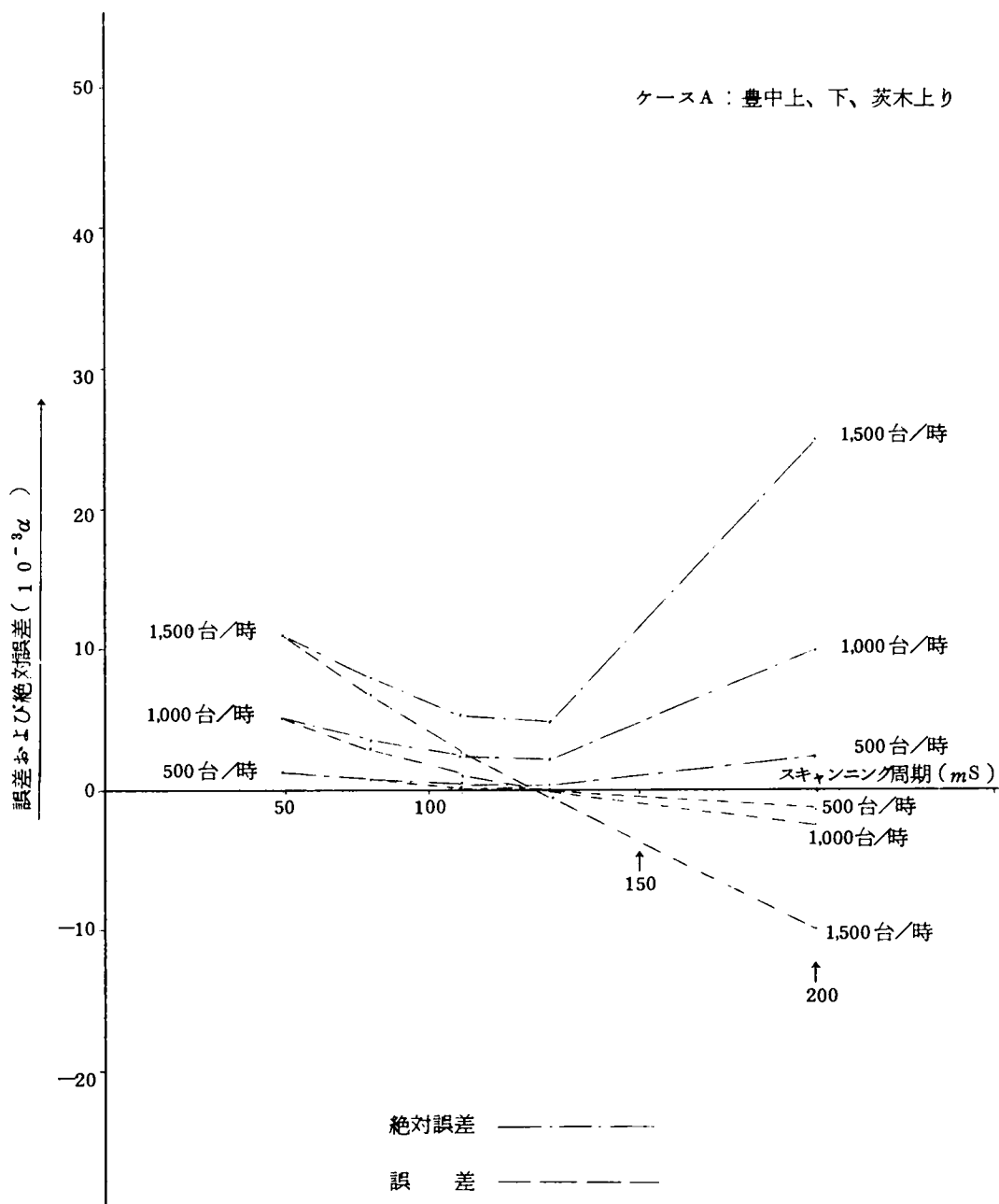


図-2-2-2(A) スキャンニング周期と周期当りの誤差および絶対誤差

ケースB、茨木下り

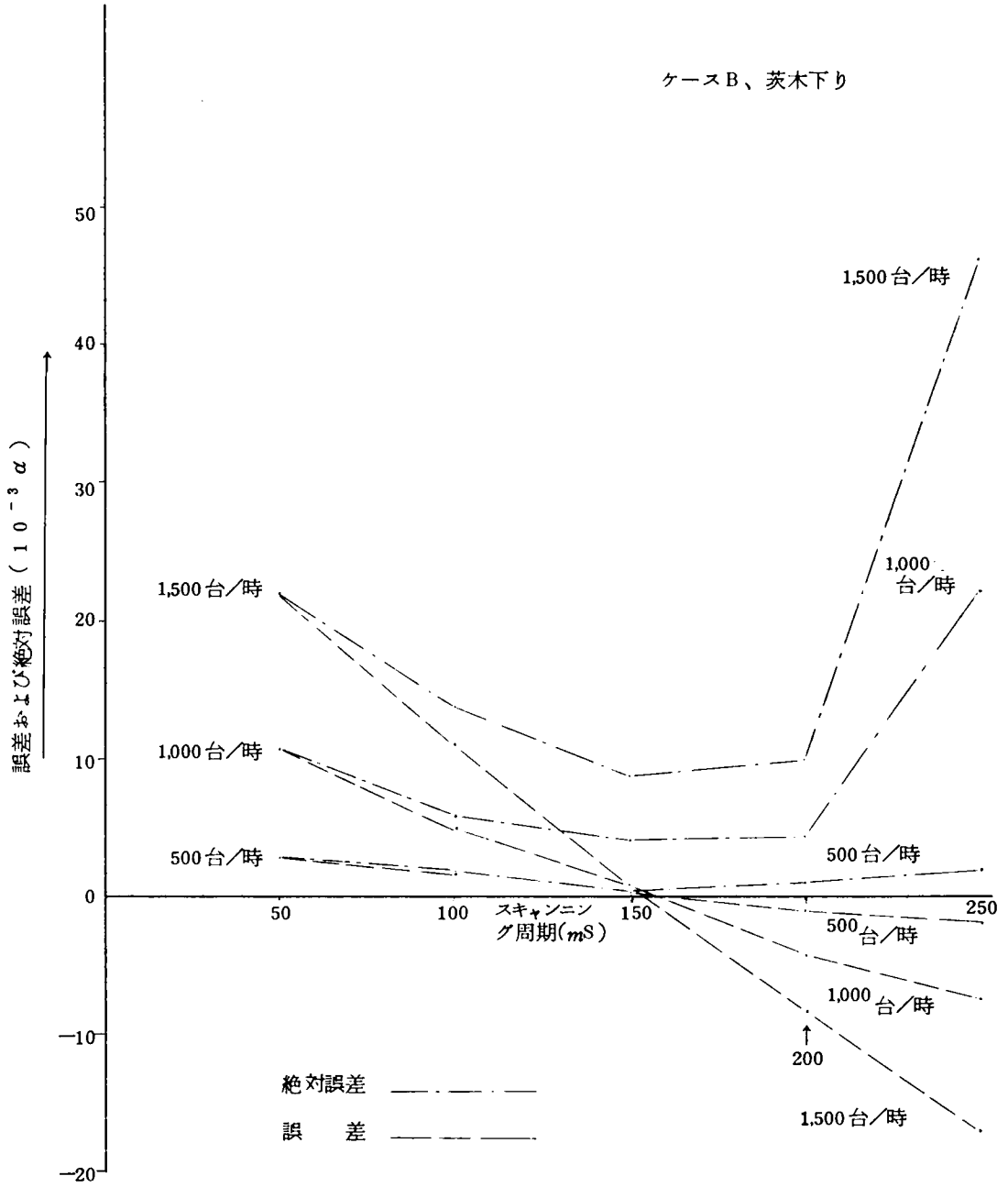


図-2-2-2(b) スキャンニング周期と周期当りの誤差および絶対誤差

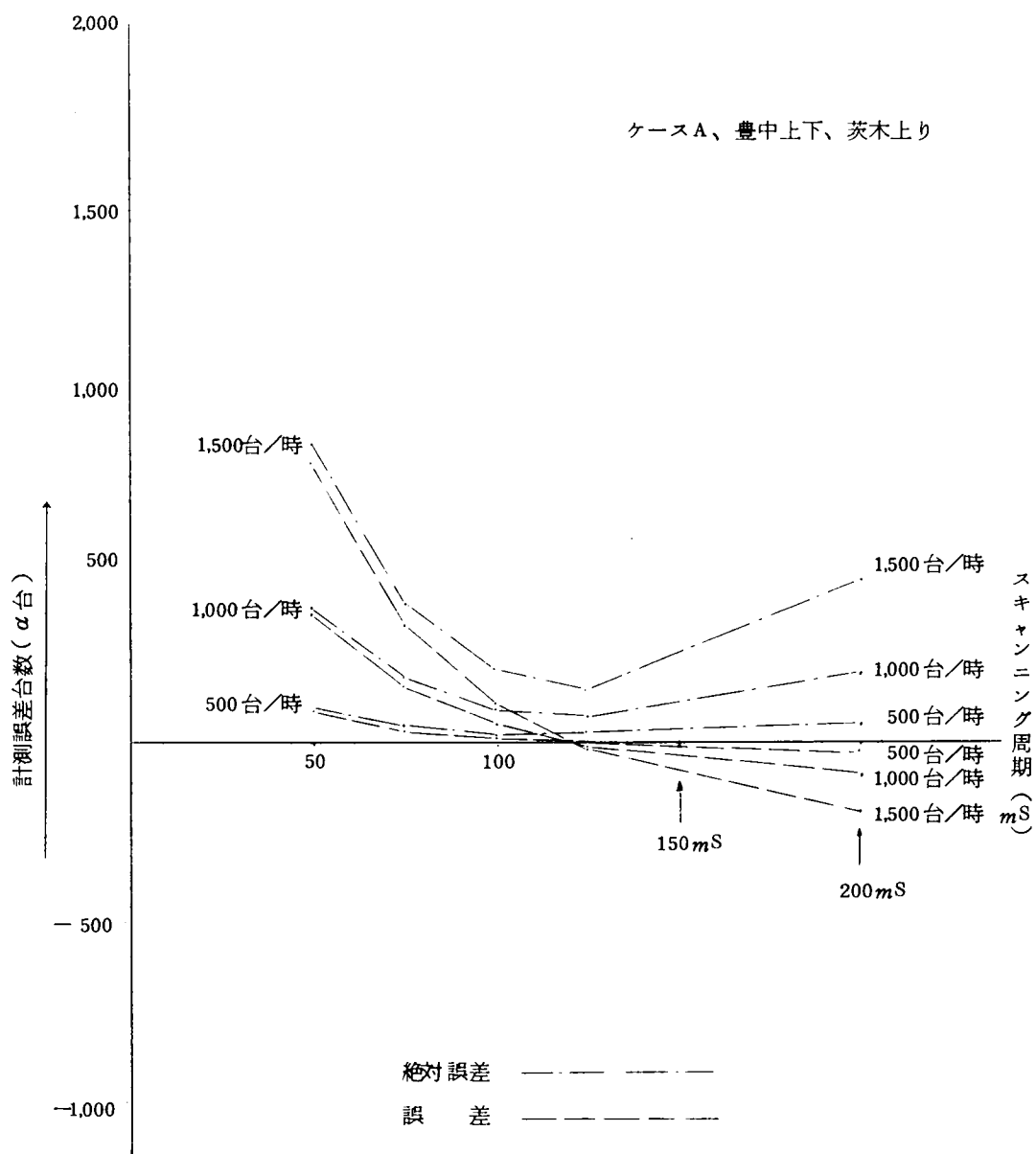
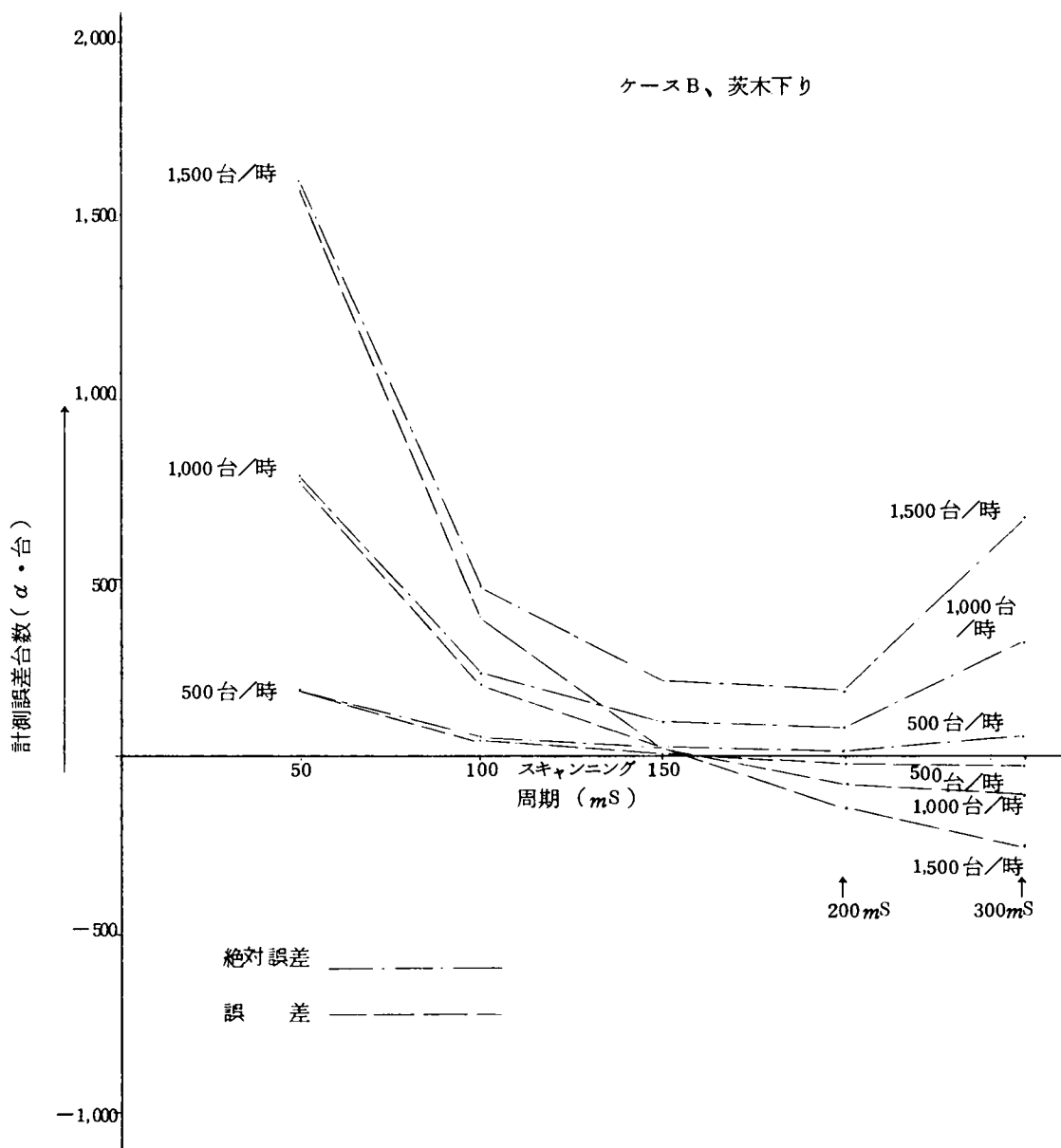


図-2-23(A) スキャンニング周期と時間当りの計測誤差台数



図一 2 - 2 3 (B) スキャンニング周期と時間当りの計測誤差台数

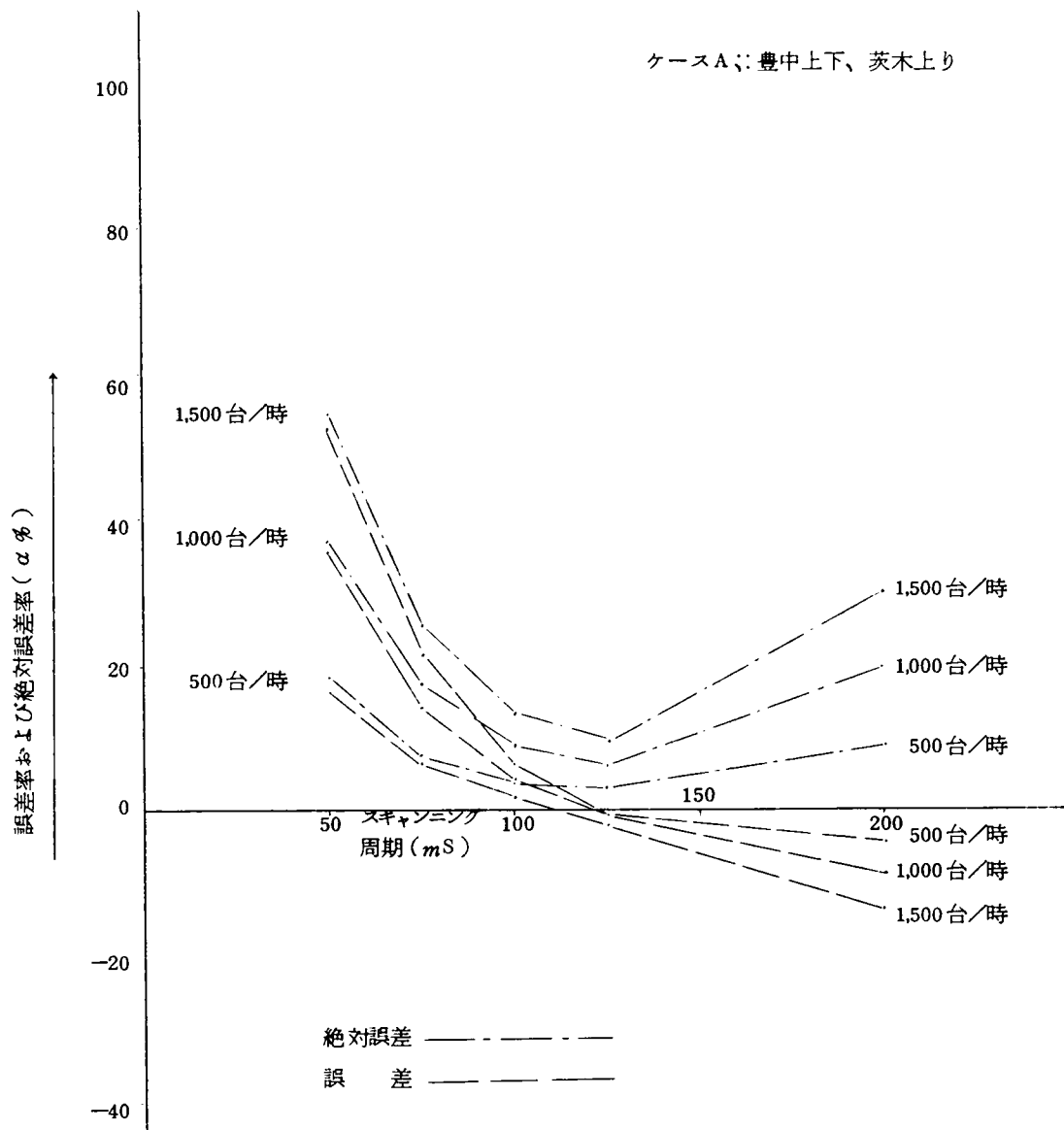
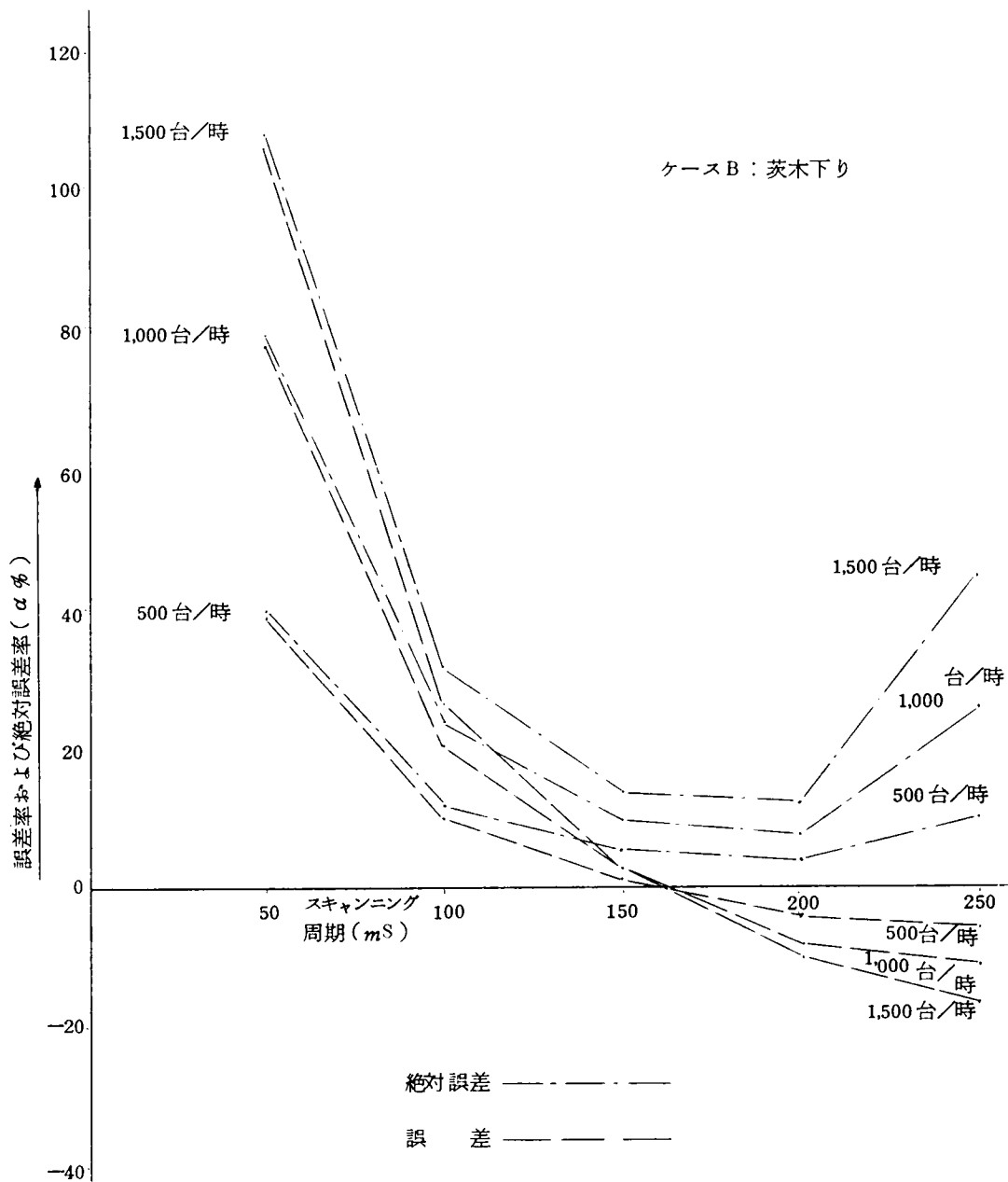


図-2-24(A) スキャンニング周期と計測誤差率



図一 2 - 2 4 (B) スキャンニング周期と計測誤差率

表-2-7 誤差および絶対誤差の計算表 その1

$V = 500$ 台/時

$T = 20\% \sim T' = 0.20$

スキャンニング周期	50 m S	100 m S	150 m S	200 m S	250 m S
τ	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250
v	0.00694	0.01389	0.02083	0.02778	0.03472
Q	0.04500	0.04500	0.04500	0.04500	0.04500
$Q - v$	0.03806	0.03111	0.12417	0.01722	0.01028
$v T'$	0.00139	0.00278	0.00417	0.00556	0.00834
$\frac{v T'}{Q - v}$	0.03650	0.08929	0.17238	0.32288	0.81128
N_t	7	4	3	2	2
S	0.046	0.114	0.221	0.322	0.811
$1 - S$	0.954	0.886	0.779	0.678	0.189
Q^2	0.002025	0.002025	0.002025	0.002025	0.002025
$(1 - S) Q^2$	0.00193	0.00179	0.00158	0.00137	0.00038
$Q v$	0.00031	0.00062	0.00094	0.00125	0.00156
$3 S$	0.138	0.342	0.663	0.966	2.433
$3 S - 2$	-1.862	-1.658	-1.337	-1.134	0.433
$(3 S - 2) Q v$	-0.00058	-0.00103	-0.00126	-0.00142	0.00068
v^2	0.00005	0.00019	0.00043	0.00077	0.00121
$\mp 2 S v^2$	0	∓ 0.00004	∓ 0.00019	∓ 0.00050	∓ 0.00196
$S - 2$	-1.954	-1.886	-1.779	-1.678	-1.189
$Q v (S - 2)$	-0.00061	-0.00117	-0.00167	-0.00209	-0.00185
$E (R)$	0.00270 α	0.00144 α	0.00026 α	-0.00110 α	-0.00180 α
$E (R)$	0.00274 α	0.00170 α	0.00106 α	+0.00110 α	0.00340 α
E	19.44 α	54.84 α	6.2 α	-19.8 α	-25.9 α
$ E $	19.73 α	61.2 α	25.4 α	19.8 α	49.0 α
$r (\%)$	38.9 α	10.36 α	1.2 α	- 3.9 α	- 5.2 α
$ r (\%)$	39.6 α	12.23 α	5.1 α	3.9 α	10.0 α

表-2-7 誤差および絶対誤差の計算表 その2

V = 1,000 台/時

T = 20 % ~ T' = 0.20

スキャンニング周期	50 m S	100 m S	150 m S	200 m S	250 m S
τ	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250
v	0.01389	0.02778	0.04167	0.05555	0.06944
Q	0.09000	0.09000	0.09000	0.09000	0.09000
$Q - v$	0.07611	0.06222	0.04833	0.03445	0.02056
$v T'$	0.00278	0.00556	0.00833	0.01111	0.01389
$\frac{v T'}{Q - v}$	0.03653	0.08936	0.17236	0.32250	0.67558
N_t	7	4	3	2	2
S	0.046	0.114	0.221	0.322	0.676
$1 - S$	0.954	0.886	0.779	0.678	0.324
Q^2	0.00810	0.00810	0.00810	0.00810	0.00810
$(1 - S) Q^2$	0.00772	0.00718	0.00631	0.00549	0.00262
$Q v$	0.00125	0.00250	0.00375	0.00500	0.00625
$3 S$	0.138	0.342	0.663	0.966	2.028
$3 S - 2$	-1.862	-1.658	-1.337	-1.134	0.028
$(3 S - 2) Q v$	-0.00233	-0.00414	-0.00501	-0.00567	0.00007
v^2	0.00019	0.00077	0.00174	0.00308	0.00482
$\mp 2 S v^2$	∓ 0.00002	∓ 0.00018	∓ 0.00077	∓ 0.00198	∓ 0.000652
$S - 2$	-1.954	-1.886	-1.779	-1.678	-1.324
$(S - 2) Q v$	-0.00244	-0.00472	-0.00677	-0.00839	-0.00828
$E (R)$	0.01074 α	0.00572 α	0.00106 α	-0.00432 α	-0.00766 α
$E (R)$	0.01098 α	0.00682 α	0.00410 α	0.00432 α	0.02216 α
E	77.33 α	205.9 α	25.4 α	-77.8 α	-1110.3 α
$ E $	790.6 α	245.5 α	98.4 α	77.8 α	319.1 α
r (%)	77.3 α	20.6 α	2.5 α	-7.8 α	-11.0 α
$ r $ (%)	79.0 α	24.6 α	9.8 α	7.8 α	31.9 α

表-2-7 誤差および絶対誤差の計算表 その3

$V = 1,500$ 分/時 $T = 20\% \sim T' = 0.20$

スキヤニング周期	50 mS	100 mS	150 mS	200 mS	250 mS
τ	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250
v	0.02083	0.04167	0.06250	0.08333	0.10417
Q	0.13000	0.13000	0.13000	0.13000	0.13000
$Q - v$	0.10917	0.08833	0.06750	0.04677	0.02583
$v T'$	0.00417	0.00833	0.01250	0.01667	0.02083
$\frac{v T'}{Q - v}$	0.0382	0.0943	0.1852	0.3564	0.8064
N_t	7	4	3	2	2
S	0.049	0.123	0.245	0.356	0.806
$1 - S$	0.951	0.877	0.755	0.644	0.194
Q^2	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169
$(1 - S) Q^2$	0.01607	0.01482	0.01276	0.01088	0.00327
$Q v$	0.00270	0.00542	0.00812	0.01083	0.01354
$3 S$	0.147	0.369	0.735	1.068	2.418
$3 S - 2$	-1.853	-1.631	-1.265	-0.932	0.418
$(3 S - 2) Q v$	-0.00500	-0.00884	-0.01027	-0.01009	0.00566
v^2	0.00043	0.00174	0.00391	0.00694	0.01085
$\mp 2 S v^2$	∓ 0.00004	∓ 0.00043	∓ 0.00192	∓ 0.00494	∓ 0.01749
$S - 2$	-1.951	-1.877	-1.755	-1.644	-1.194
$(S - 2) Q v$	-0.00527	-0.01017	-0.01425	-0.01780	-0.01617
$E (R)$	0.02206 α	0.01110 α	0.00114 α	-0.00830 α	-0.01712 α
$E (R)$	0.02238 α	0.01364 α	0.00868 α	0.00992 α	0.04618 α
E	158.83 α	399.6 α	27.4 α	-149.4 α	-246.5 α
$ E $	161.14	491.0 α	208.3 α	178.6 α	665.0 α
$r (\%)$	105.9 α	26.6 α	1.8 α	-10.0 α	-16.4 α
$ r (\%)$	107.4 α	32.7 α	13.9 α	11.9 α	44.3 α

キャンニング周期が長くなってくると、カウントミスによるマイナスの誤差が大部分を占めていくことが示されている。また $E(|R|)$ 、 $|E|$ および $|r|$ の絶対誤差に関連する指標についてみればいずれも 0 ポイント、すなわちケース(A)では 150 mS、ケース(B)では 125 mS 付近で最小値をとっているものと考えられる。いずれにせよ誤差の期待値が±0となる最適キャンニング周期は、交通量－オキュパンシーの関係に依存しており交通量の伸びに対してオキュパンシーの伸びが小さいほど、すなわち、速度の相対的に高い道路区間であればあるほど短い。キャンニング周期が適していることが考えられる。また一旦この交通量－オキュパンシーの関係が定められると最適キャンニング周期は交通量の大小にそれほど関係ないものと考えられる。したがってもし全ての車が完全に車線を守って走行し異常走行による計測誤差が無視できる状態にあるとすれば名神のような地方部高速道路における本線上車両検知器の最適キャンニング周期は 125～150 mS であると推定できる。

ランプノーズ付近の最適キャンニング周期については図－2－25に示される豊中上りオフランプノーズ付近での実測値⁽⁷⁾を例にとって、本線の場合と同様の計算を行ない結果をプロットしたものを図－2－26(A)、および(B)に示す。計算にあたっては交通量 500 台/時および 1,000 台/時に対してそれぞれ 7.5 % および 15 % のオキュパンシーを用いている。図－2－26からみてランプのように交通量の伸びに対してオキュパンシーの増加傾向の強い地点、いいかえれば相対的に走行速度の低い地点では最適キャンニング周期は長くなってくることがわかる。本線の 125～150 mS の最適キャンニング周期に対してランプでは 250 mS 以上であることが示されている。

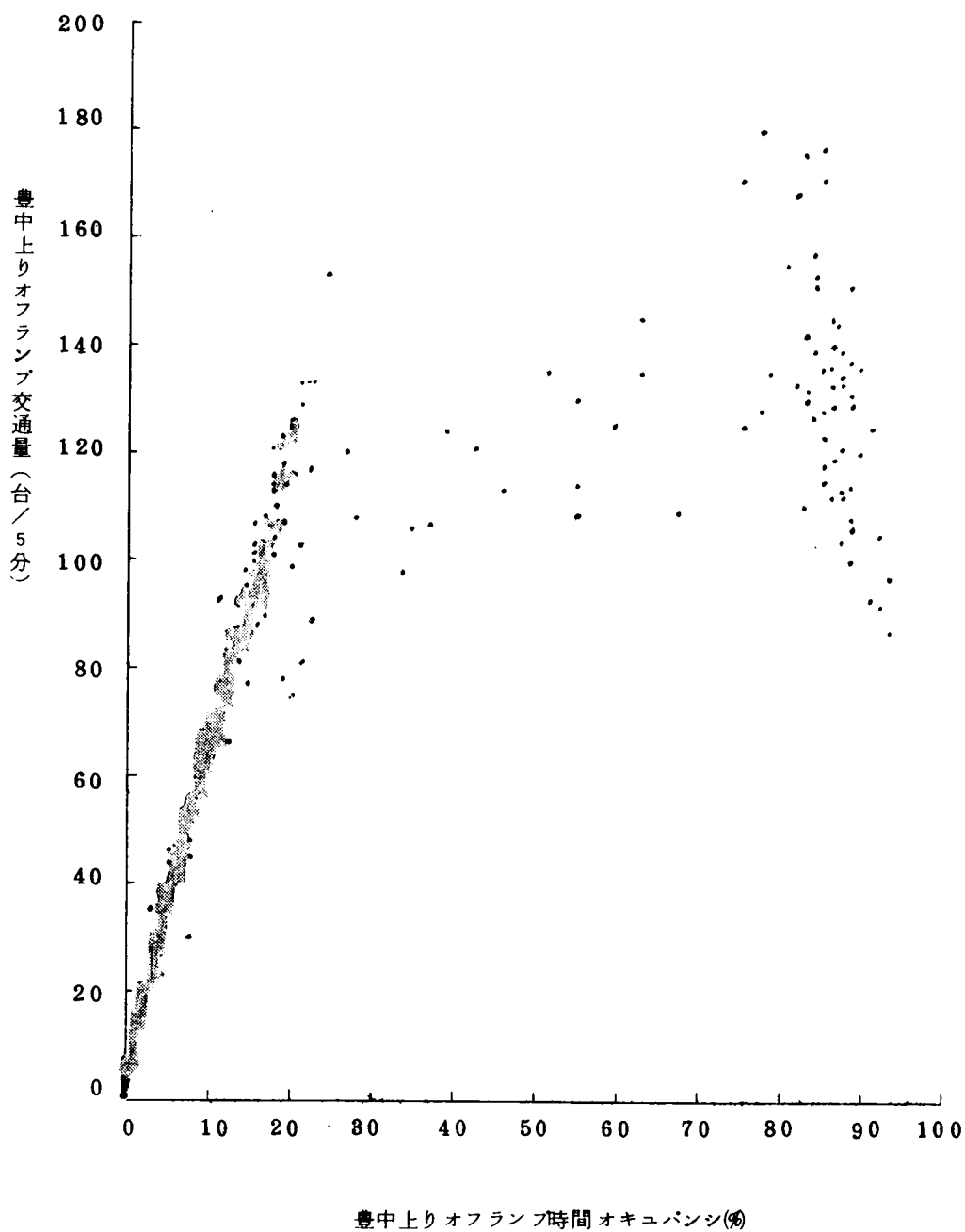


図-2-25 豊中上りオフランプ 時間オキュパンシー交通量
(43年12月調査)

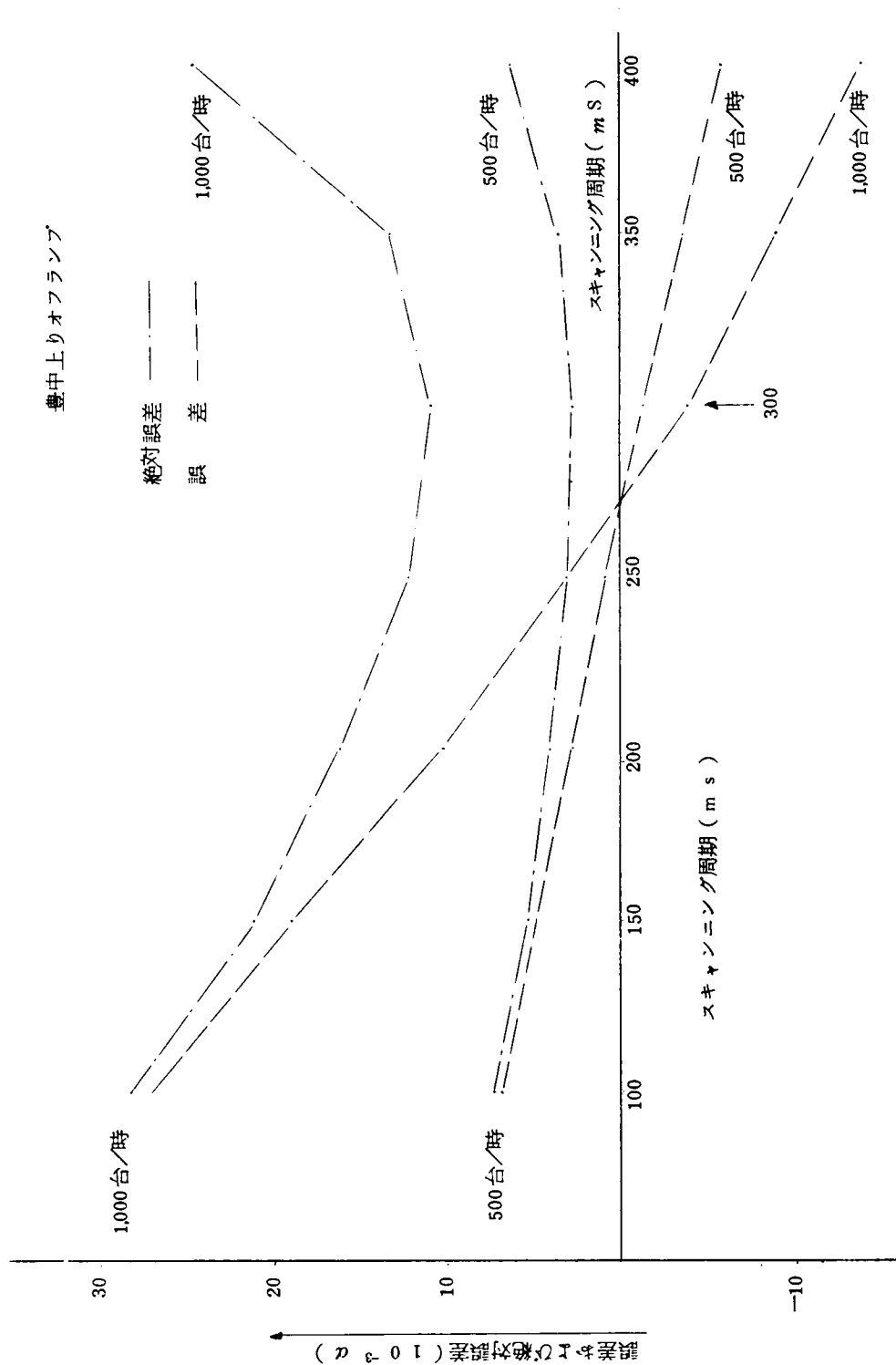


図-2-26 (A) スキャンニング周期と周期当りの誤差及絶対誤差

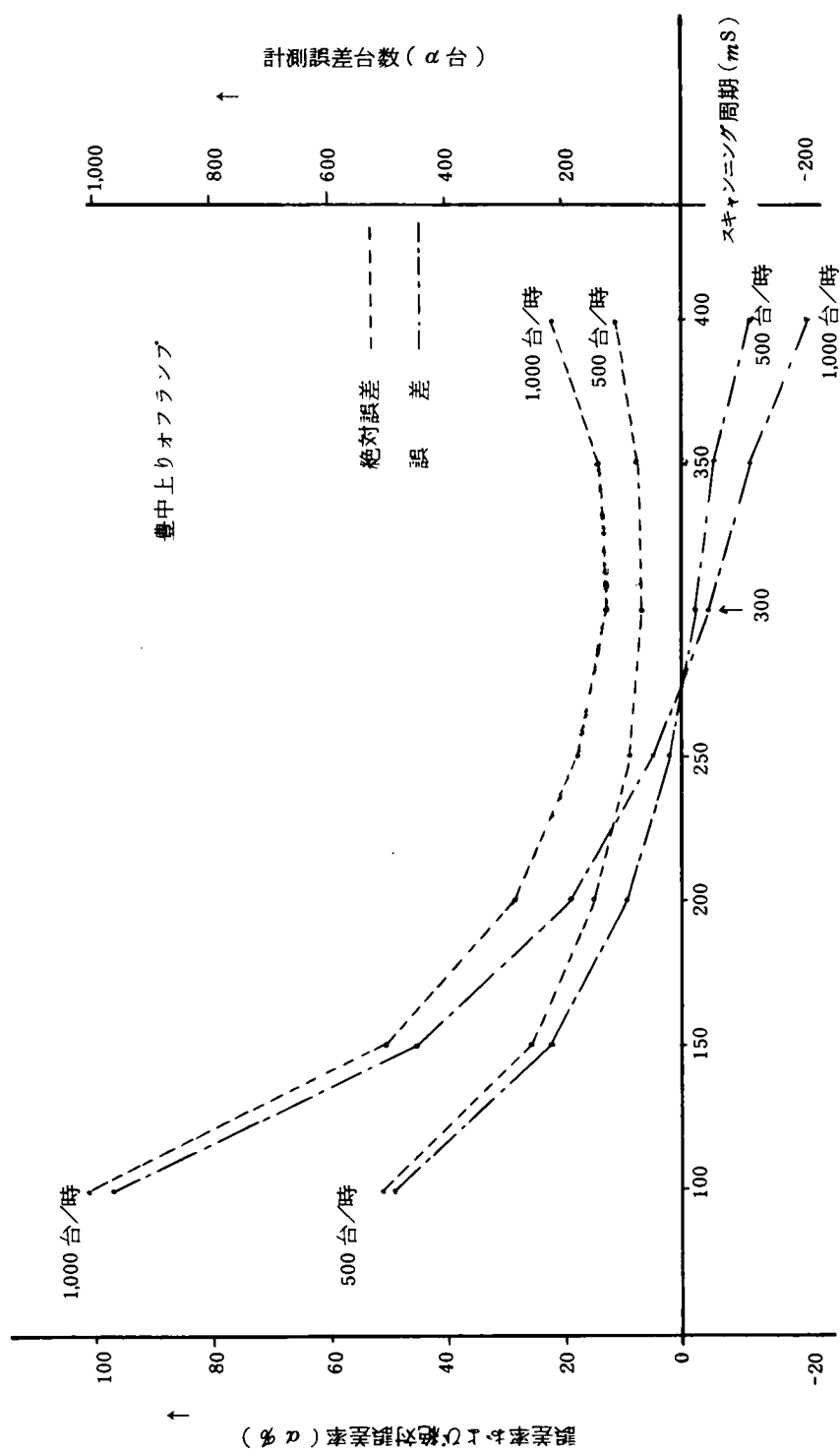


図-2-26(B) スキャンニング周期と計測誤差率および単位時間当り計測誤差台数

(b) あいまい度による評価

車両が実際に検知器上を通過していく状況をスキャンニング毎にその占有状態を記録し、二連続 0-1 表示で示していけば完全な台数計測が行なわれるはずである。実際には多少の誤りが発生する検知器伝送装置および計算器からなる機器システムから得られる計測台数によって常時交通の監視が可能になる。問題としているのは機器システムの信頼性である。そこで実際の車両占有状態を集合 A、機器システムから得られる二連続 0-1 表示の示す状態を集合 B としそれぞれの要素は 2-2-2 で定めたように下記のようにとるものとする。当然 A は情報理論における入力記号であり、B は出力記号に相当する。

要素の分類	集 合 A (入力情報)	集 合 B (出力情報)	二連続 0-1 表示の内容
車両非占有期間	a_1	b_1	0 0
前期遷移期間	a_2	b_2	0 1
後期遷移期間	a_3	b_3	1 0
車両占有期間	a_4	b_4	1 1

表-2-5 に従って a_i と b_j の対応の状態を調べると a_1 は台数計測に関する b_1 に対応するが、 a_2 (0 1) が入力情報としてインプットされた場合 b_1 、 b_2 および b_4 が出力情報として得られる可能性があり、その確率は

$$\begin{cases} P(b_1/a_2) = \{v - S(Q-v)\} \alpha \\ P(b_2/a_2) = 1 - \{v - S(Q-v)\} \alpha - v(1-r)\beta \\ P(b_4/a_2) = v(1-r)\beta \end{cases}$$

で表わされる。いま $P(b_j/a_i) = P_{ij}$ ($i = 1, \dots, 4$ $j = 1, \dots, 4$) とすれば P_{ij} を確率要素とするマトリックス P は

$$P = [P_{ij}] = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{vmatrix}$$

$$\begin{array}{c|cccc}
= 00 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
01 & \{v-S(Q-v)\}\alpha & 1-\{v-S(Q-v)\}\alpha & 0 & v(1-r)\beta \\
& & -v(1-r)\beta & & \\
10 & \{v-S(Q-v)\}\alpha & 0 & 1-\{v-S(Q-v)\}\alpha & 0 \\
11 & (1-S)^2(Q-v)^2 & (1-S)(Q-v)\alpha & (1-S)(Q-v)\alpha & 1-2(1-S)(Q-v)\alpha-(1-S)^2 \\
& \alpha^2 & & & (Q-v)^2\alpha^2 \\
\hline
& 00 & 01 & 10 & 11 \\
& & & & \dots\dots\dots (2-32)
\end{array}$$

のように表わせる。この行列は入力記号 a_i が送られたとき出力記号 b_j が受けられる条件付確率を示しており情報理論における通信路行列にほかならない。行列の各行は入力記号に対応し、各列は出力記号に相当する。 $P_{ij} = P(b_j / a_i)$ は条件付確率であるから当然

$$\sum_{j=1}^4 P_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, 3, 4$$

である。また入力記号の発生確率は式(2-21)を記号に合わせて書きなおすと

$$\begin{cases}
P(a_1) = 1 - Q - v \\
P(a_2) = v \\
P(a_3) = v \\
P(a_4) = Q - v
\end{cases}$$

さて式(2-32)で示される通信路行列の各行について、そのエントロピーを $H_i(B)$ とすると

$$\begin{cases}
H_1(B) = -\sum_{j=1}^4 P_{1j} \log P_{1j} = -1 \cdot \log 1 = 0 \\
H_2(B) = -\sum_{j=1}^4 P_{2j} \log P_{2j} \\
\quad = -\{v-S(Q-v)\}\alpha \log \{v-S(Q-v)\}\alpha - v(1-r)\beta \log v(1-r)\beta \\
\quad \quad - [1-\{v-S(Q-v)\}\alpha - v(1-r)\beta] \log [1-\{v-S(Q-v)\}\alpha - v(1-r)\beta] \\
H_3(B) = -\sum_{j=1}^4 P_{3j} \log P_{3j} \\
\quad = -\{v-S(Q-v)\}\alpha \log \{v-S(Q-v)\}\alpha - [1-\{v-S(Q-v)\}\alpha] \cdot
\end{cases}$$

$$\begin{aligned}
& \log [1 - \{v - S(Q - v)\alpha\}] \\
H_4(B) &= - \sum_{j=1}^4 P_{4j} \log P_{4j} \\
&= -(1-S)^2(Q-v)^2\alpha^2 \log (1-S)^2(Q-v)^2\alpha^2 - 2(1-S)(Q-v)\alpha \cdot \\
&\quad \log (1-S)(Q-v)\alpha - \{1 - 2(1-S)(Q-v)\alpha - (1-S)^2(Q-v)^2\alpha^2\} \cdot \\
&\quad \log \{1 - 2(1-S)(Q-v)\alpha - (1-S)^2(Q-v)^2\alpha^2\} \\
&\quad \dots\dots\dots (2-33)
\end{aligned}$$

式(2-33)で示される $H_i(B)$ は入力記号すなわち二重マルコフ交通発生モデルの仮定に従って車両の占有状態が与えられ特定の a_i が起ったという条件のもとでなお出力記号 b_i に残されているあいまいさの程度を示し、 a_i が起ったという条件の下での検知器システムの条件付エントロピーと呼んでよいものである。したがって $H_i(B)$ の A についての平均を求めれば二重マルコフ交通発生モデルの仮定のもとで検知システムの平均的なあいまいさの程度を数値的に評価することができる。あいまいさの平均を $H_a(B)$ とすれば

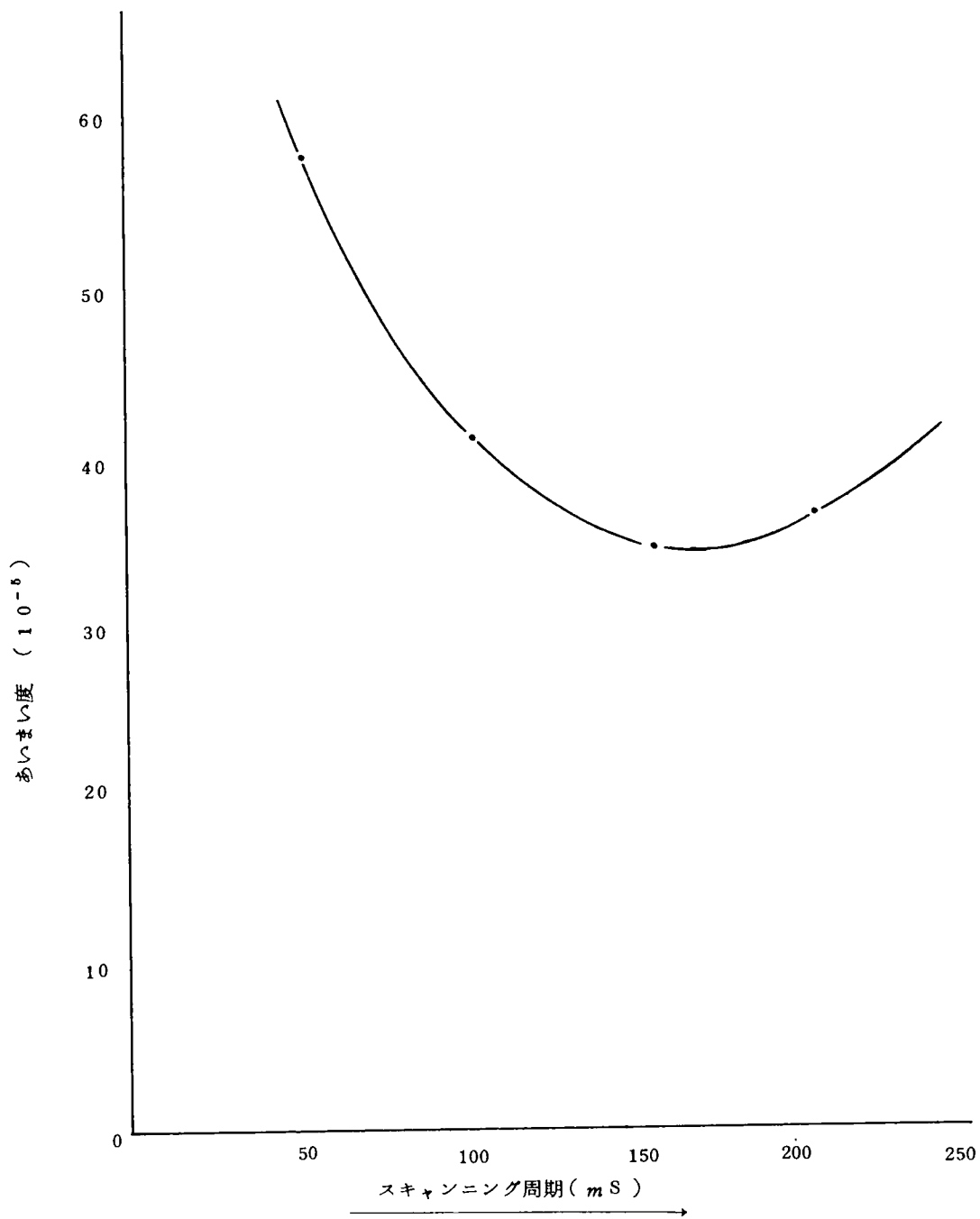
$$\begin{aligned}
H_a(B) &= \sum_{j=1}^4 P(a_i) H_i(B) \\
&= (1-Q-v)H_1(B) + vH_2(B) + vH_3(B) + (Q-v)H_4(B) \\
&\quad \dots\dots\dots (2-34)
\end{aligned}$$

式(2-34)中の $H_i(B)$ は(2-33)で示される $H_i(B)$ である。

表-2-8 あいまい度とスキャンニングの計算表

(V=1,000台/時 $\alpha=0.015$ $\alpha^2=0.000225$)

スキャンニング周期 τ (秒)	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250
v	0.01389	0.02778	0.04167	0.05555	0.06944
Q	0.09000	0.09000	0.09000	0.09000	0.09000
$Q-v$	0.07611	0.06222	0.04833	0.03445	0.02056
S	0.046	0.141	0.221	0.322	0.676
$S(Q-v)$	0.00350	0.00877	0.01068	0.01109	0.01390
$v-S(Q-v)$	0.01039	0.01901	0.03099	0.04446	0.05554
$a = \{ v - S(Q-v) \} \cdot \alpha$	0.00016	0.00029	0.00046	0.00067	0.00083
$\log a$	-3.79588	-3.53760	-3.33724	-3.17393	-3.08092
$-a \log a$	0.00061	0.00103	0.00154	0.00213	0.00256
$b = 1 - a$	0.99984	0.99971	0.99954	0.99933	0.99917
$\log b$	-0.00007	-0.00013	-0.00020	-0.00029	-0.00036
$-b \log b$	0.00007	0.00013	0.00020	0.00029	0.00036
$H_2(B) = H_3(B) = -a \log a - b \log b$	0.00068	0.00116	0.00174	0.00241	0.00292
$(1-S)$	0.954	0.859	0.779	0.678	0.324
$(1-S)^2$	0.91012	0.73788	0.60684	0.45968	0.10498
$(Q-v)^2$	0.00579	0.00387	0.00234	0.00119	0.00042
$c = (1-S)^2(Q-v)^2 \alpha^2$	0	0	0	0	0
$\log c$	—	—	—	—	—
$-c \log c$	0	0	0	0	0
$d = (1-S)(Q-v) \cdot \alpha$	0.00109	0.00080	0.00056	0.00035	0.00010
$\log d$	-2.96257	-3.09691	-3.25181	-3.45593	-4.00000
$-2d \log d$	0.00638	0.00496	0.00364	0.00242	0.00080
$e = 1 - 2d - c$	0.99782	0.99840	0.99888	0.99930	0.99980
$\log e$	-0.00095	-0.00070	-0.00049	-0.00030	0.00009
$e \log e$	0.00095	0.00070	0.00049	0.00030	0.00009
$H_4(B) = -c \log c - 2d \log d - e \log e$	0.00733	0.00560	0.00413	0.00272	0.00089
$2v H_2(B)$	0.000019	0.000064	0.000145	0.000268	0.000406
$(Q-v) H_4(B)$	0.000558	0.000348	0.000200	0.000094	0.000018
$H_a(B) = 2v H_2(B) + (Q-v) H_4(B)$	0.000577	0.000412	0.000345	0.000362	0.000424



図一.2-27 スキャンニング周期と計測のあいまい度

図－２－２７は前項(a)で $E(R)$, $E(|R|)$ 等を試算した仮定値と同じ値を用いさらに α については $1/70$ 程を考慮し 0.015 として時間交通量 $1,000$ 台に対して計測過程のあいまい度をスキャンニング周期に対応してプロットしたものである。スキャンニング周期当りの計測誤差、単位時間当りの計測誤差および誤差率と同様にあいまい度も 150 mS 付近で最小値をもっていることが示される。

2-4 実測例に基づいた計測過程モデルの評価

2-4-1 目的

前節まで、特に2-3節および2-4節において二重マルコフ過程を利用した交通発生モデルのもとで交通量計測過程の確率的検討を行ってきたが、問題となるのは計測過程モデルがどの程度現実の車両検知器の検出過程を追跡し、検出結果との適合性を得ているかということであり、またモデルの持つ機能の限界を確かめておくことである。以下に名神高速道路における超音波式車両検知器、および阪神高速道路におけるループ式車両検知器の精度測定結果をもとに上述した問題点の検討を行なう。

2-4-2 名神高速道路における精度測定の例

(a) タイプ選定の理念と問題点

名神高速道路では昭和45年に開催された万国博のための交通処理対策として栗東～西宮間の各インターチェンジ周辺に車両検知器が設置され吹田において中央管制が行なわれ現在においてもそれらの機器は稼働運用されている。車両検知器のタイプ選定と設置方式についての方針は次のとおりである。⁽⁸⁾

- (1) 盛土部での路面掘削は路面を痛め、また車両検知器の移設要求の可能性もあることなどからループ式は採用せず全面的に超音波式が採用されている。
- (2) 清掃車、工事車両などの路肩駐車、工事や交通整理関係者の路肩通行、超音波ヘッドに対するいたずらなどによる障害を防止するため超音波ヘッドの取付は頭上式が採用されており路面上4.7～5.0mの頭上に設置されている。
- (3) ランプウェイはインターチェンジの構造上から全体にわたって曲線であることが多く交通流の少ないときは車線中心に沿って走行をしない場合が多いが、混雑度が高まってくると車線は守られてくる傾向にある。万博当時は本線交通との相互渋滞影響を事前に検出するため、ランプウェイの車両検知器設置位置は本線との分岐合流ノーズ付近が選定されている。二車線ランプウェイに関しても渋滞時の交通情報を重視するため、車線毎に超音波ヘッドが頭上式で設置されている。

以上の理念にもとづいて設置された車両検知器は1970年の万国博覧会開催時ならびに終了後も引き続き名神高速道路、中国及び近畿自動車道の交通管制情報収集用として稼働中であるが、その運用において機器の精度の点でつぎのような問題点が発生している。

すなわち本線用車両検知器についていえば超音波ヘッドが路面上4.7m～5.0mの頭上に設置

されているにもかかわらずたびたび外力による損傷を受け検知地点のずれが生じて異常な情報を送ってくる場合がある。多数の設置実績のある一般街路の頭上式超音波ヘッドの場合はこのような前例がみられないので高速走行の貨物車が巻上げる荷台幌による損傷かまたは工事中のクレーン車等によるものと考えられる。いずれにしても入口ゲートでの高さの制限のチェックが行なわれまたトンネル内でのクリアランスの関係から通常の走行車両に起因するものとは考えられない。損傷を受けた頭上式超音波ヘッドの保守のためには高速道路の車線規制を行なったうえ修復工事にあたらざるをえず補修の迅速性、安全性の点からも問題が多い。

またランプについては万博後は緊急時以外に渋滞が発生することは少なく、円滑交通時においても正確な情報は運用上重要であるにもかかわらず、上述したようなランプ線形上の理由から検知精度が十分とはいえない面がある。とくに異常走行の多い2車線ランプにおいて必要な検知精度が得られない。

(b) 本線上の超音波式車両検知器の精度測定の実例と理論値との関係

表一2-9に昭和46年5月～7月にかけて行なわれた名神高速道路での超音波式車両検知器の精度測定の実例を示す。この精度測定は全て30分の単位で行なわれており検知精度としては、観測による通過台数と観測時間帯における車両検知器の検知台数の差を通過台数で除したものをを用いて判定しており、前節の図一2-24に示した r に相当するものである。検知精度としては本線上車両検知器についていえば全て97%以上の検知精度がえられているが、これは図一2-24に示される r とは完全に対応したものではない。表一2-9に示す検知精度は高速道路の片側断面交通量に対応するものであり図一2-24に示す r は車線当りの検知精度の期待値であり、しかも完全に車線を守って走行することを条件として考えている。表一2-9の注に示すように異常走行はすべて車線を跨ぐ状態で走行した車両をカウントしたもので、観測時には路肩を走行する車両はなかったこと、および、超音波式車両検知器の検知範囲が名神の場合は横断方向について約1.2mであることから考えて異常走行車は両検知器ともに検知されない場合と両検知器ともに検知される場合、さらにどちらかの検知器には検知されている場合の三ケースが考えられ実際には個々の異常走行車の走行位置によって三つの場合のいずれかの現象が生じ結果として実際上の検知誤差(I)が得られたものとするのが妥当であろう。

ここでは検知器の機器としての精度を示す指標である α の値を推定するために表一2-9の異常走行車の検知状態を次の4ケースを想定して検知誤差率を試算する。すなわち

ケース1：異常走行車は全て両検知器に検知されない。

ケース2：異常走行車のうち50%はどちらかの車両検知器に検知される。

表一 2-9 計測実績と異常走行に対する検知率の検討

地点番号	場所	測定日時	計測台数				台数			検知誤差率(I) $\frac{P_2 - P_1}{P_1}$	補正通過台数 (P_1') $\frac{1}{P_1' - 2}$	検知誤差率(II) $\frac{P_2 - P_1'}{P_1'}$	補正通過台数 (P_1'') $P_1 - 1$	検知誤差率(III) $\frac{P_2 - P_1''}{P_1''}$	補正通過台数 (P_1''') $P_1 + \frac{1}{2}$	検知誤差率(IV) $\frac{P_2 - P_1'''}{P_1'''}$
			通過台数				検知台数									
			走行	追越	異常*(I)	計(P_1)	走行	追越	計(P_2)							
1	栗東下り	5/12 9:30 ~ 10:00	234	173	26	433	239	195	434	0.002	420	0.033	407	0.066	449	-0.033
2	京都南下り	5/12 11:20 ~ 11:50	288	176	12	476	300	189	489	0.027	470	0.040	464	0.054	482	0.015
3	茨木上り	7/88 11:00 ~ 11:30	499	548	14	1061	618	469	1087	0.024	1054	0.031	1047	0.038	1068	0.021
4	茨木下り	7/8 10:15 ~ 15:30	315	236	8	559	332	241	573	0.025	555	0.032	551	0.040	563	0.018
5	吹田上り	5/13 15:00 ~ 15:30	369	346	15	730	397	322	719	-0.015	722	-0.004	715	0.006	745	-0.035
6	吹田下り	5/12 16:25 ~ 16:55	440	570	21	1031	451	574	1025	-0.006	1020	0.005	1010	0.015	1042	-0.016
7	豊中上り	7/8 13:40 ~ 14:10	493	280	23	806	489	299	798	-0.010	794	-0.005	784	0.018	818	-0.024
8	豊中下り	7/8 12:50 ~ 13:20	351	188	21	570	378	174	552	-0.030	559	-0.013	549	0.005	581	-0.050
9	西宮上り	5/14 15:40 ~ 16:10	238	587	55	880	269	589	857	-0.026	852	0.006	825	0.039	905	-0.050
		異常走行車 100%検知と仮定 (ケース3)										50%不検知 (ケース2)	100%不検知 (ケース1)	50%二重検知 (ケース4)		

* 異常走行はすべて車線を跨ぐ状態で踏肩走行はなかった。

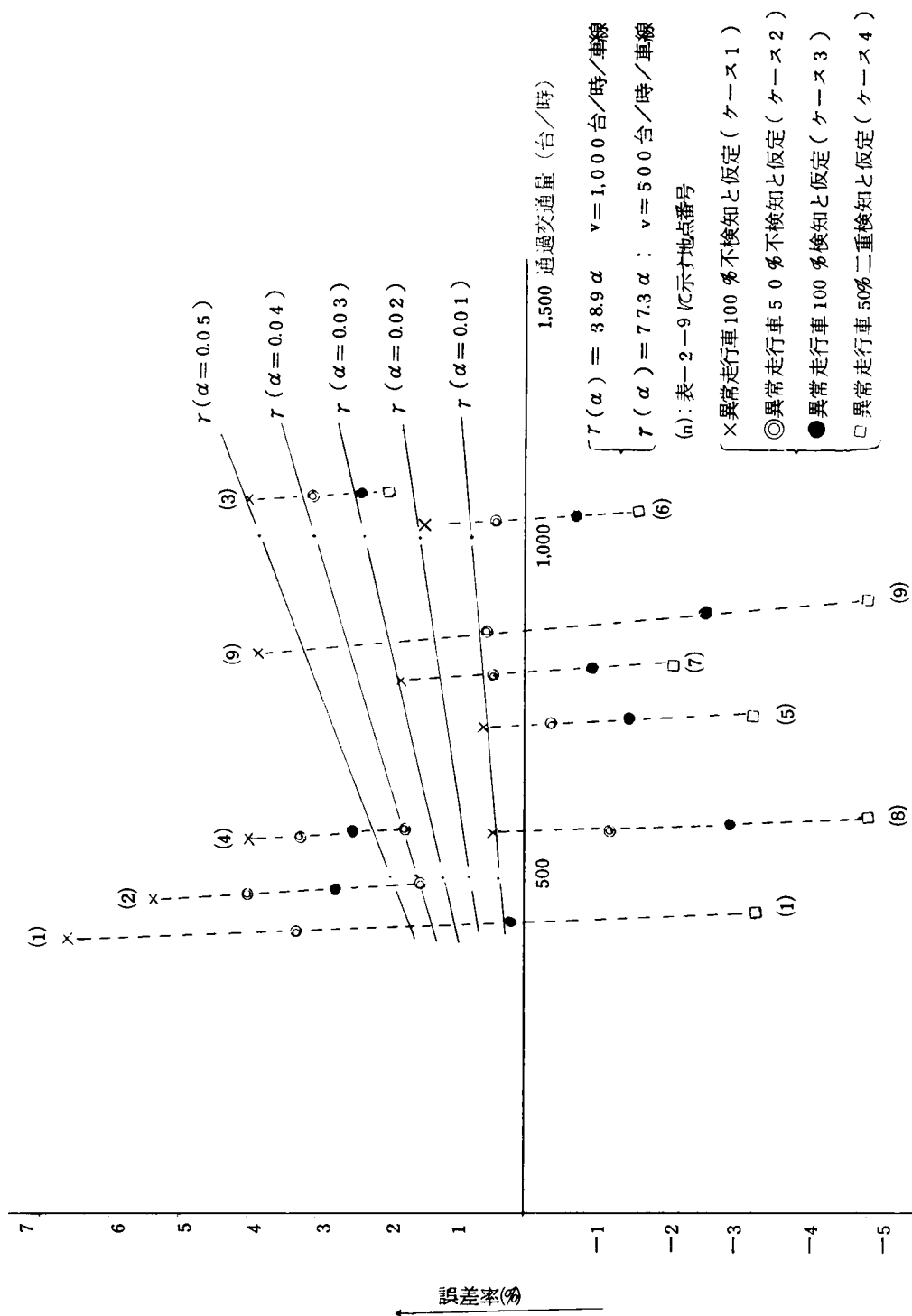


図-2-28 誤差率の実例

ケース 3：異常走行車は全てどちらかの車両検知器に検知されしかも二重検知はない。

ケース 4：異常走行車は全てどちらかの車両検知器に検知されしかもそのうちの 50% は両方の車両検知器に検知されている。

計算過程を表 2-9 の右欄に併せて示し、その結果を図 2-28 に示す。この場合観測時間帯は 30 分であり二車線について同時に観測が行なわれてゐるので計測台数、検知台数ともに観測値を時間当りの追越、走行両車線の平均交通量としてプロットしている。図 2-28 に同時に α を 0.01 から 0.05 まで変化させた場合の r の図 2-24 (b) に対応する理論値をプロットしてみると、 α の値が 0.01 の場合に、想定した 4 ケースに対応する検知誤差率のいずれかの間に包含される地点数が最大となる。すなわち $\alpha = 0.01$ の場合地点(2)、(3)および(4)以外は各地点のケース別誤差率を結ぶ点線と交わっている。地点(2)、(3)および(4)である京都南下り、茨木の上下については二重検知が多かったのか、または後述する車種によるパルス割れもあったのではないかと推定される。いまかりに図 2-28 からみて $\alpha = 0.01$ とすると名神高速道路の場合は 50 m/s のスキッピング周期であるから図 2-24 からみて、検知器による計測誤差率は 1% 以下と考えられる。しかし一方では図 2-28 は車両検知器の信頼性を論ずるにあたって実際上問題となるのは車線を守って走らない車や追越し途中で車線を横切って走行する異常走行車のとりあつかいが最も大きい要素であることも示している。この問題については次章でとりあつかう。

(c) ランプにおける超音波式車両検知器の検知精度

表 2-9 に示された本線車両検知器の検知精度観測と同時に行なわれたランプにおける観測結果を表 2-10 に示す。前項(a)、タイプ選定の理念と問題点で述べたようにランプにおける異常走行の割合が多く、表 2-10 から検知器自体の検知精度を論ずることは無理である。ここでは、道路横断方向に広い検知範囲を任意に設定できる側射方式で検知器を設置してランプ上での検知器の検知精度を観測した例を以下に示す。観測は昭和 48 年に高速道路調査会交通流監視制御研究班によって行なわれたものである。⁽⁸⁾

表一 2-10 ランプにおける計数試験結果集計表

(昭和46年)

場 所	日 時	計 測 台 数							検 知 誤差率
		通 過 台 数				検 知 台 数			$P_2 - P_1$
		走行	追越	異常	計 P_1	走行	追越	計 P_1	P_1
京都南下り流出	5/12 12:15~12:45	104	5	51	160	140	49	189	0.153
茨木上り "	5/13 16:40~17:10	76	—	48	124	114	—	114	-0.080
茨木下り "	5/12 15:40~16:10	83	—	5	88	83	—	83	-0.057
吹田上り "	5/12 17:45~18:15	177	—	1	178	178	—	178	0
吹田下り "	5/14 16:50~17:20	181	7	64	262	241	35	276	0.050
豊中上り "	7/8 14:40~15:10	382	21	61	443	428	—	428	-0.034
豊中下り "	5/13 11:40~12:10	263	—	8	292	264	16	280	-0.041
京都南下り流入	5/12 12:55~13:25	167	—	101	268	241	—	241	-0.100
吹田上り "	5/13 17:30~18:00	81	3	5	99	84	10	94	-0.050
吹田下り "	5/12 7:40~18:10	150	—	9	159	163	—	163	+0.025

実験場所と実施日

2車線ランプウェイで最も交通量の多い豊中下り流出ランプの本線との分岐ノーズ付近、

実施日：昭和48年1月25日

実 験 方 法

図一 2-29のように超音波ヘッドを対向側射式に仮設置し、検知範囲を図の斜線のように設定して車線別に通過台数、走行位置および検知台数を観測員が測定し、走行位置は各検知範囲別にそれぞれの車両中心通過位置を路面を横断方向に各4車線4等分したゾーン別に目視により測定したものである。

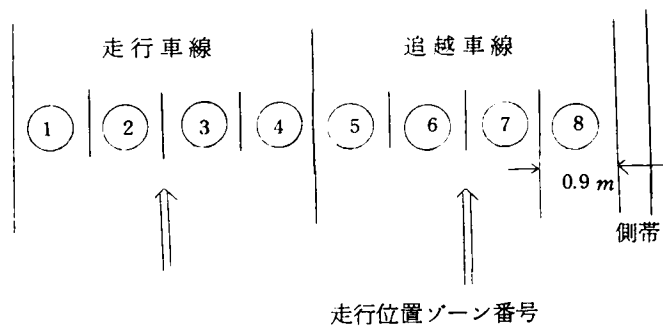
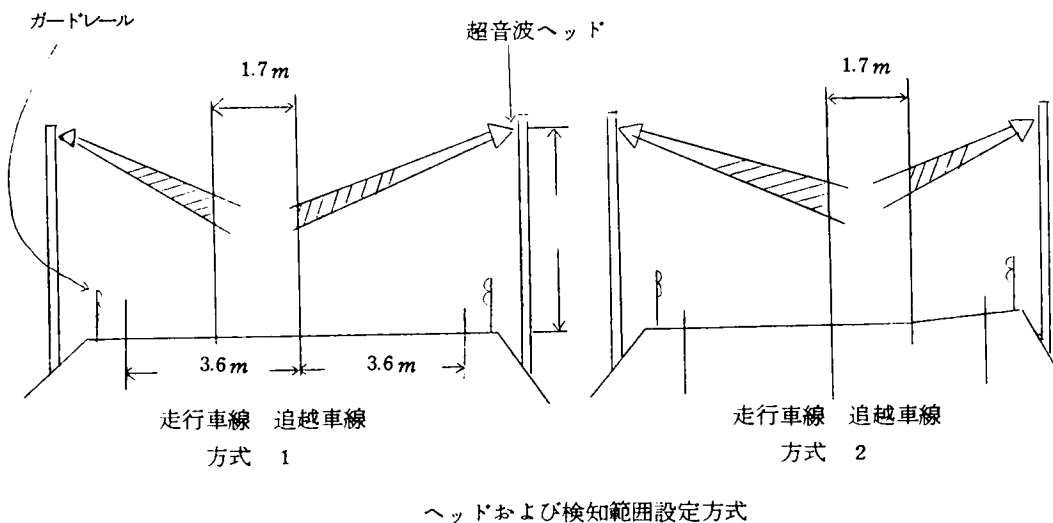


図-2-29 ランプウェイ検知器精度観測配置図

実験結果

結果を表-2-11に示す。誤差の発生はすべて二検知器の検知範囲間にある1.7mの死点を通行する車両によって起っており、大型車では重検知、軽車両では不検知となっていることが確かめられている。死点を通過する確率の小さい方式2の方が高精度であることは当然の結果である。交通量からみても推察されることであるが、観測時間帯を通じて渋滞現象は現われずすべて円滑な交通流であった。渋滞するほど車線は守られる傾向にあるので方式2による側

表-2-11 超音波側射方式による計数試験結果

項目	区 分	回 方式 時間	1	2	3	4
			1	2	2	2
		時間	11:20 ~ 11:50	15:00 ~ 15:30	16:25 ~ 16:55	17:00 ~ 17:30
観 測 台 数	走 行 位 置	①	0	0	0	0
		②	35	41	36	43
		③	182	197	256	314
		④	101	120	150	96
		⑤	7	28	35	29
		⑥	10	11	27	42
		⑦	3	6	9	17
		⑧	0	0	0	0
	計 P_1		338	403	513	541
検 知 台 数	走行車線側		277	375	456	464
	追越車線側		60	32	55	75
	計		337	407	511	539
誤 差	重 検 知		10	4	2	0
	不 検 知		11	0	4	2
	計 P_2		21	4	6	2
	誤 差 率 (P_1/P_2) $\times 100$		6.21	0.94	1.17	0.37

射方式は異常走行の多い2車線ランプでも十分の精度で利用できる。

以上が交通流監視制御研究班の行ったランプウェイにおける検知精度の観測結果であるが、結果からみて検知誤差が全て死点通行車によるものとされているので機器自体の精度としては表-2-11をみるかぎり非常に高く $\alpha=0$ とせざるをえない。たとえば第2回観測において重検知状態が4回発生しそのため検知台数は通過台数よりも4台多くなっている。機器自体の精度は100%信頼できるものとせざるをえない。これは本章の2-1-3(d)超音波式車両検知器の設置方法で述べたように側射式では車両側部のもっとも平面に近い部分を反射対象面としているために均一な反射波が得られ信頼度が高まることに起因すると考えられる。すなわち超音波式車両検知

器における α の値は設置方法によっても変わることが示される。ただし、いまかりに α が本線の頭上式で設置された超音波式車両検知器と同程度の0.01程度の値をとるものと仮定すると上記実験中の走行車線の時間当たり交通量800ないし900台に対応する絶対誤差率の期待値は図-2-26(B)からみて1%程度と推定されるが、これは方式-2の絶対誤差率平均値0.83% \sim (0.94+1.17+0.37)/3とほぼ等しい結果を得る。このことから前節で述べた計測過程確率モデルは異常走行に対して十分な配慮がなされている車両検知器についても理論値の適用の可能性があることを示唆していると考えられる。

2-4-3 阪神高速道路における精度調査の例

阪神高速道路では入口、出口および本線上に主としてループ式車両検知器を設置し(本線上では一部超音波式が設置されている。)得られた情報は中央で収集処理され交通管制、混雑予測、料金収入台数の照合などに用いられている。「阪神高速道路の交通管制装置に関する点検調査報告書」(47年3月建設技術協会)によるとつぎのような結果となっている。⁽⁸⁾なおこの調査では端末と中央を含む総合的点検を行なっているが、ここでは端末検知器部分の調査データのみを引用する。また調査では料金収入台数照合のためとくに高精度を要求される入口のループ式車両検知器を対象としている。

結果は表-2-12に示すように検知部の誤差は試験回数16回(12料金所)のうち2回(2料金所)のみが誤差0を記録しているが、それ以外は大なり小なり誤差が計測されている。検知精度を99.7%以上とすると、実測調査では16回中、6回分(4料金所)がその目標を下まわった値となっている。上記の誤差原因としては特定の車種に対しオーバーカウント或いはミスカウントに起因するものと、ループの2度踏みや後続車の異常接近走行などの通行状態によるものに大別できるが前者に起因するものが92%をしめている。すなわちトレーラーや大型トラック等の大型車に対してのバルス割れによるオーバーカウントと二輪車のミスカウント特に大型車に対するバルス割れ、すなわち歯抜け現象が誤差発生の大部分を占めていることが判明したのである。これらの車両の検知器上の通過状況を堺の料金所において調査した結果

- (1) 大型車の検知バルスが割れる間隔は0.1秒以下である。
- (2) トレーラーの検知バルスが割れる間隔は0.1～0.2秒である。
- (3) 通行車両間の時間間隔は0.4秒、大半は0.9秒以上である。

ということが判明し、バルス割れを防止するために次の処置がとられた。

- (1) トレーラーによるバルス割れを許容して大型車のバルス割れを防止するためには0.3～0.4秒のバルスオフ遅延回路を検知器に設ければよい。

表一 2 - 1 2 計数試験結果集計表

(昭和46年)

日 時	料 金 所	項 目 実測値 略号	計 測 台 数		誤 差	
			通過台数	検知出力	$P_2 - P_1$	$(\frac{P_2 - P_1}{P_1}) \times 100$
			P_1	P_2		
1/18 14~17	空 港		3,189	3,191	2	(3.03) 0.063
11/20 9~12	塚 本		1,904	1,904	0	(4.23) 0
11/18 9~12	え び す		1,921	1,923	2	(1.20) 0.104
11/18 14~17	湊 町		1,605	1,607	2	0.125
1/17 9~12			1,660	1,667	7	0.421
計			3,265	3,274	9	(2.40) 0.275
11/19 9~12	阿 倍 野		1,367	1,367	0	(0.93) 0
11/20 14~17	森 小 路		2,322	2,324	2	(3.23) 0.086
12/14 14~17	堺		6,975	6,980	5	0.072
1/18 9~12			5,677	5,692	15	0.264
計			12,652	12,672	20	(6.20) 0.158
11/19 14~17	南 開		2,731	2,746	15	0.549
1/17 14~17			2,687	2,698	11	0.409
計			5,418	5,444	26	(13.30) 0.480
11/25 10~13	芦 屋		5,891	5,925	34	0.577
1/19 9~12			6,398	6,419	21	0.328
計			12,289	12,344	55	(11.97) 0.448
1/19 14~17	生 田 川		760	765	5	(1.87) 0.658
12/13 14~17	柳 原 (東)		1,017	1,019	2	(6.70) 0.020
12/13 14~17	若 宮		3,476	3,483	7	(13.93) 0.201
合	計		49,580	49,710	130	0.241

- 備考 1. 1料金所で2回実施したのは、日時の経過による安定度を調査するためである。
2. 1料金所1回の計数時間は調査員の疲労を考え3時間とした。
3. 検知部誤差率欄()内は46/11~47/1の昼間平均大型車混入率を示す。

(2) トレーラーによるパルス割れもある程度防止してこのために生ずる車両時間間隔の短い車の(一)の誤差を許容するとした場合は0.6～0.7秒の遅延回路を設ければよい。

表一2-13に遅延回路を設けない場合と0.3～0.4秒の遅延回路を設けた場合の実測結果を示す。遅延回路を設けなかった場合の誤差率が3.2%であったのに対して遅延回路を設けた場合は0.33%と10分の1に低下していることがわかる。

表一2-13 遅延回路を設けた場合と設けない場合の検知台数

時 間	通行 台数	検知 台数	(パルス割台数) 大型車台数	(パルス割台数) トレーラー台数	大型車 混入率	トレーラー 混入率	遅延回路の有無
10～11	450	461	(4) 91	(6) 7	20.2(%)	1.56(%)	な し
12～13	356	369	(5) 103	(8) 7	28.9(%)	1.97(%)	な し
計	806	830	(9) 194	(14) 14	24.1(%)	1.74(%)	
13～14	1,773	1,779	(1) 226	(4) 8	18.7(%)	0.005(%)	0.3～0.4 秒の遅延 回路あり

さて4節で述べた計測モデルの計算結果によると同じ交通量に対しては、オキュパンシーが大きくなればなるほど最適スキャンニング周期は長くなることが示されている。交通量1,000台/時に対して設定した高速道路本線およびランプで設定したオキュパンシーに対する最適スキャンニング周期をプロットすると図一2-30のようになり、上記の最適スキャンニング周期とオキュパンシーの傾向が確かめられる。このことを計測モデルの基礎になった交通発生モデルの0-1表示にたちもどると次のように考察を加えることができる。すなわち交通発生モデルではスキャンニングごとに検知器上で車両が存在していれば1、存在していなければ0として1の群の数でもって交通量におきかえ誤りの発生の可能性を検討してきたのであるが、一定の交通量に対してオキュパンシーが大きくなってくるとことは1の群に含まれる1の数が平均して大きくなっていくことになる。交通量が一定である限り、0-1二元表示上で交通量計測のタイミングである(01)又は(10)という1と0の切れ目の数は変化せず1の続き具合が長くなるということである。ところで計測過程モデル上での考えは、実際には車両が存在しているにもかかわらず器機のアウトプットでは0となる可能性を認めその発生確率を α で示してきた。 α が0でないかぎり交通発生モデルのもとでは、計測誤差を生ずる1の群の中での正の誤りの発生を少なくするために1の群のサイズが大きくなればなるほどスキャンニングの回数を落して、すなわちスキャンニング周期を長くとることが妥当であるというのが計測過程

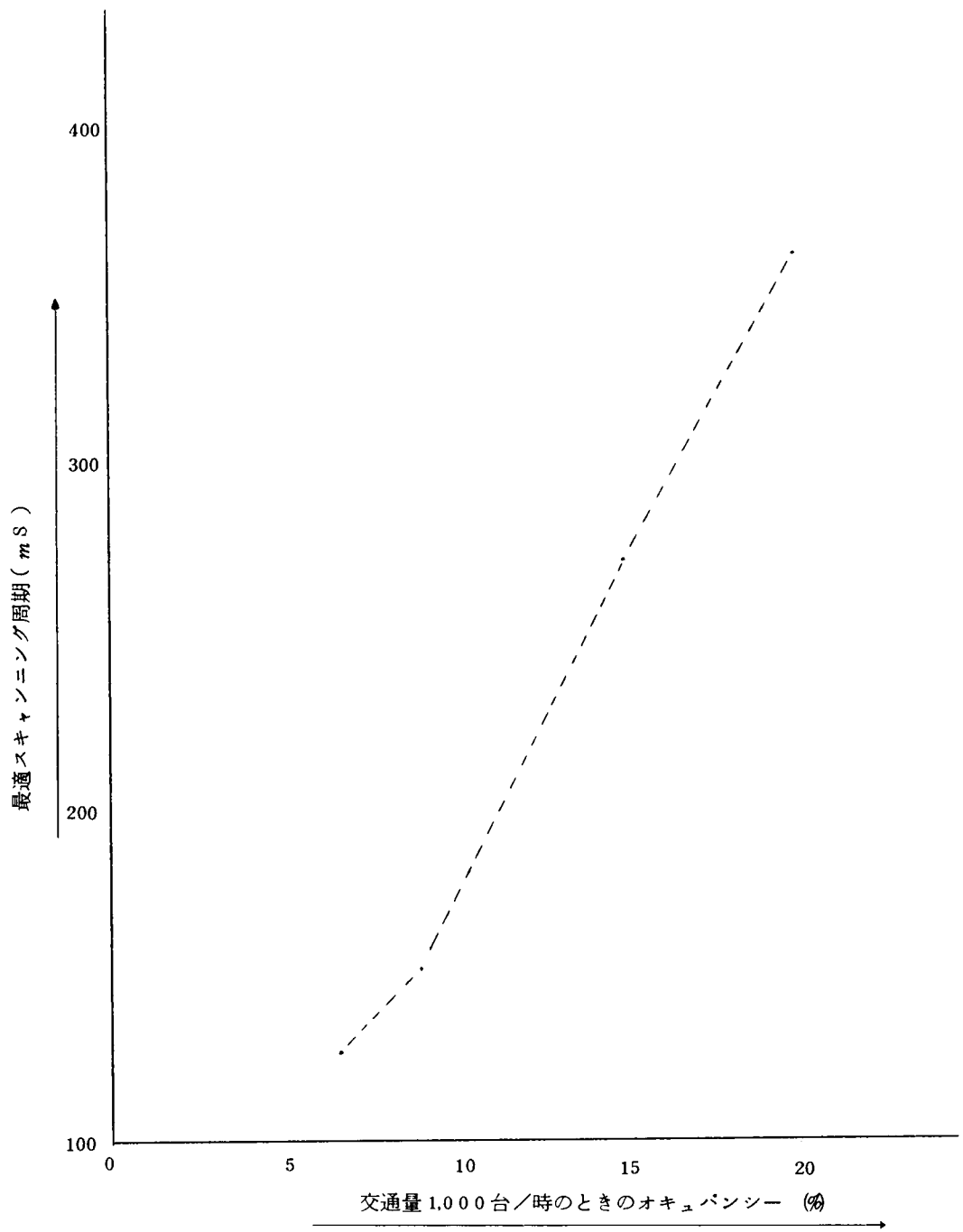


図-2-30 オキュパンシーと最適スキャンニング周期

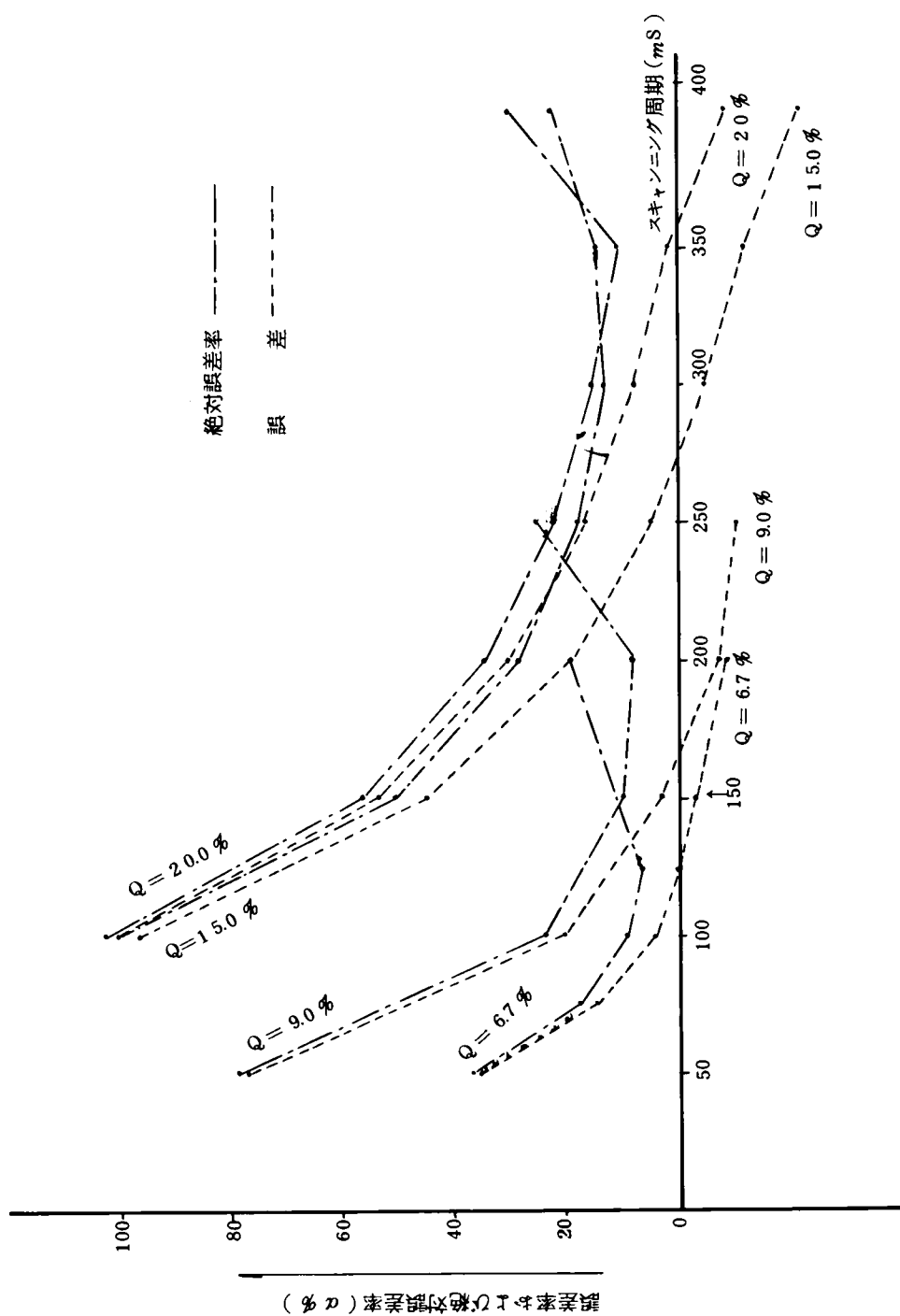


図-2-3 1 1,000 台/時におけるオキバパンシーの変動に対する計測誤差率とスキャンニング周期の関係

モデルの結果である。

さて阪神高速道路の料金所付近車両検知器はループ式であり、その検知パルスの周期は明らかではないが、超音波式車両検知器の場合の出力保持時間に相当する遅延回路の挿入により精度の向上が大いに認められる結果を得ている。しかも遅延時間は交通量に対してオキュパンシーの非常に高い豊中の例に示される最適スキャンニング周期よりも長く、図-2-30および図-2-31からみて交通量1,000台/時のオキュパンシー20%程度の最適スキャンニング周期に相当している。料金所付近に設置されているということは通過車両は料金支払のため停止するのであるから当然、速度は低くオキュパンシーも高くなるはずである。ただし阪神高速道路料金所での調査の結論を計測過程モデルの見地からみれば車種によってさけることのできない計測過程の正の誤りを防ぐために最適スキャンニング周期内の検知パルスを包含する遅延回路を挿入して精度を上げたと考えるべきであろう。このため阪神の場合の α は0.003以下と非常に小さくなっている。

以上のことから超音波式車両検知器の場合も検知パルスの周期と出力保持時間および最適スキャンニング周期についても同様に考え、最短車両の最高速度、最大許容風速、車両と超音波ヘッドの最大距離等器機およびその設置条件等から定まる検知パルス周期に加えて、計測モデルから求められる最適スキャンニング周期と検知パルス周期の差を出力保持時間として加えれば好結果が期待されるものと考えられる。通常行なわれている検知パルス周期50～100ms、出力保持時間をその1.5倍程度は名神高速道路のような地方部高速道路本線上の検知器としては適確な設定の方法といえよう。

2-4-4 計測過程モデルの評価と限界

これまでの検討の結果一車線交通流に対しての車両検知器の交通量計測の過程が理論化され、交通流の特性すなわち、交通量、オキュパンシー、大型車混入率と交通量計測過程における誤差の期待値と最適スキャンニング周期との関係づけが行なわれた。名神高速道路のような地方部高速道路の本線上に設置される車両検知器の最適スキャンニング周期は125～150msであり、ランプ付近においては250ms程度と推定される。またもし車線を跨いで走るといった異常走行が完全にないものとした場合の交通量の計測誤差率の期待値は0.3～1.0%程度である。ただし交通量計測における誤差発生最大の原因は上記の異常走行車による検知ミスでありこの点については次章で検討を行なう。また本交通量計測モデルを用いた試算は全て交通渋滞発生時の交通を対象とはしていない。渋滞発生時の計測過程については、二重マルコフ連鎖を用いた交通発生モデルにさかのぼって別途の検討が必要と考えられる。なお試算にあたって用いた交通流に関する基礎資料は非常に限られたものである。以下に交通流を示す各指標と交通量計測モデルの性質から推定される最適スキャンニング周期の傾向

と今後の問題点を記す。

(1) 交通量とオキュパンシーの変動

交通量とオキュパンシーの関係は図-2-18~21および図-2-25で示されるように自由交通流の領域ではほぼ直線関係を保っている。ただしその直線の傾きは道路の構造と交通の構成等によって異なってくる。しかし一旦交通量とオキュパンシーの関係が得られた場合は自由交通流の範囲では交通量の多少にほぼ無関係に最適スキューニングを定めることができる。

(2) 交通量と速度およびオキュパンシーの関係

図-2-32⁽⁹⁾~(1)、(2)および(3)に示されるように自由交通流の範囲で特に車両の平均速度は交通量に変化してもそれほど大きな変動は示さない。したがってモデルの中で重要な役割をする大型車占有時の限界値 τ_1 （式(2-23)参照）についても一定値を仮定している。ただし図-2-31(4)に示されるように交通量の増加に対する速度の低下傾向の大きい場合には試算で行なった場合と異なり、異なった交通量に対して異なった τ_1 を想定する必要がある。このような速度傾向がある地点では交通量とオキュパンシーの関係も完全な直線関係を保たないはずであるがいずれにせよ交通量が大きくなるにつれ速度の低下の傾向が大であればオキュパンシーの増加傾向も加速度的に大となるので交通量が多い領域では最適スキューニング周期は、より長いものが要求される結果となろう。

(3) 大型車混入率

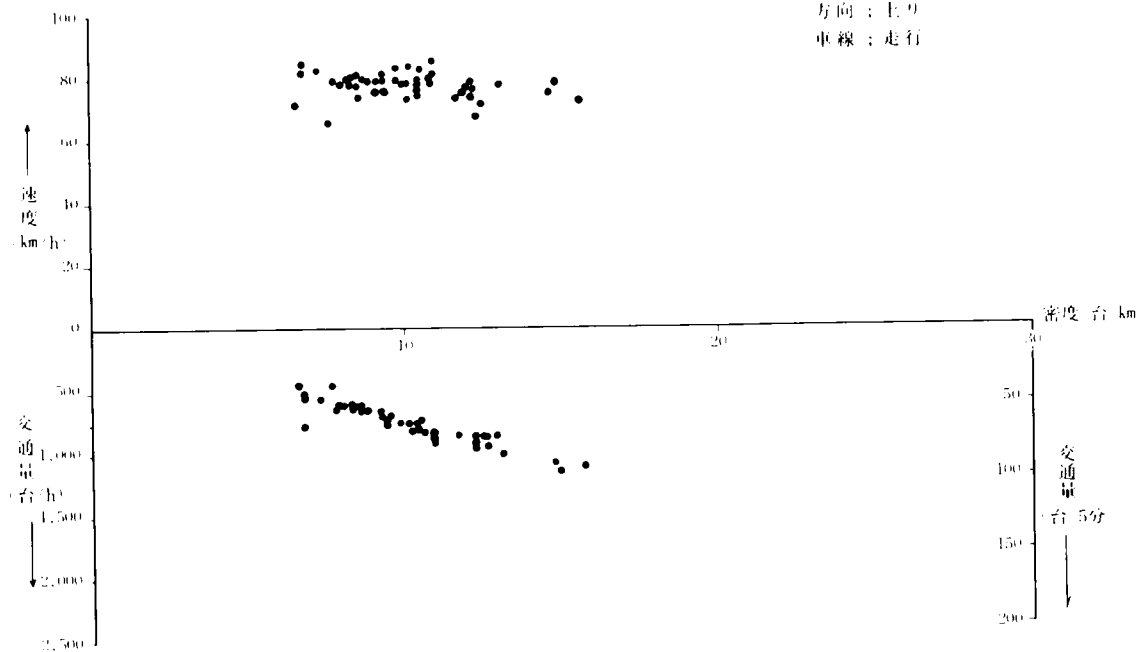
大型車混入率については名神高速道路の交通量時間オキュパンシーの実測資料が得られたときの実測値が得られなかったので文献-6により実測が行なわれた月の平均値を用いて解析を行なった。したがって大型車混入率の変動が交通量計測モデルのアウトプットである最適スキューニング周期や計測誤差等によどのような影響を与えるかについての定量的結論を得るに至っていない。定性的には上記(2)と同じくオキュパンシーを増加させる要素であるので大型車混入率が大きくなると最適スキューニング周期は長くなり誤差や誤差率の期待値も大きくなっていくものと推察される。この方向での資料の収積および解析が期待されるところである。

図 2-3-2 (1) 密度、速度、交通量図

観測日：8月15日

方向：上り

車線：走行



方向：上り

車線：追越

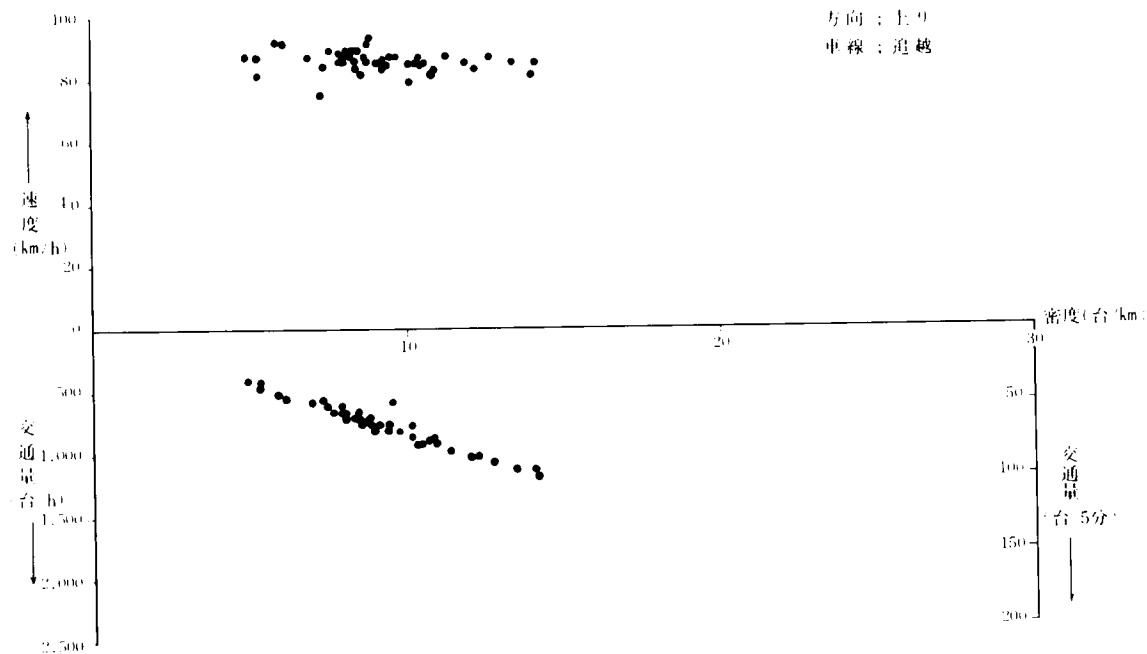
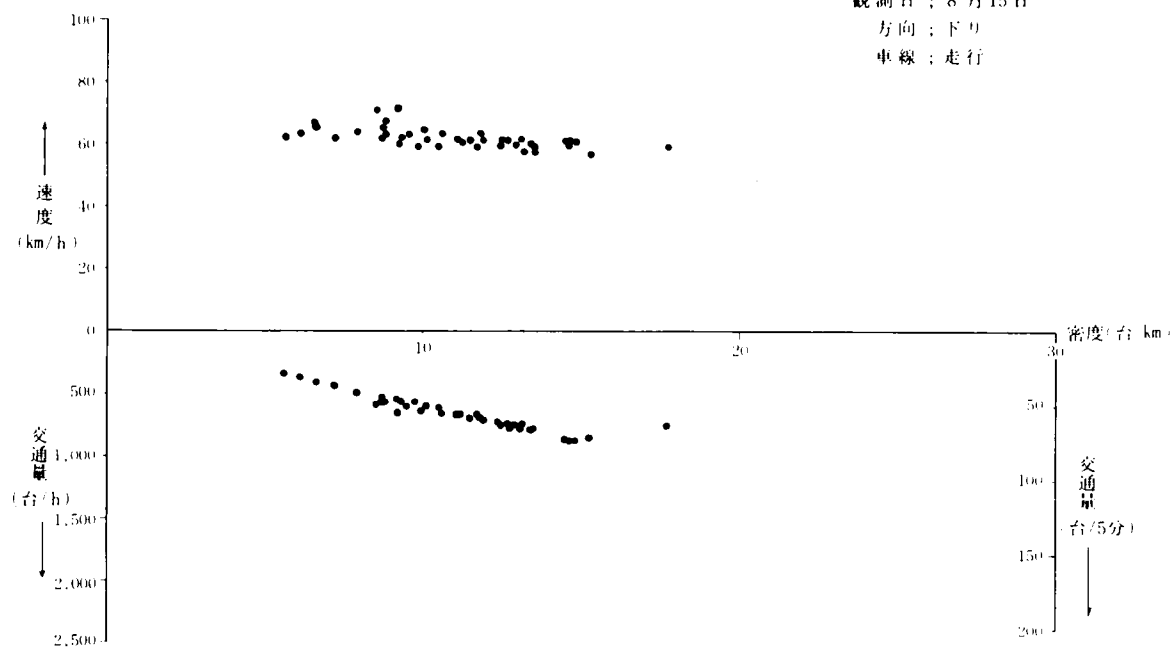


図 2 3 2 -(2) 密度、速度、交通量図

観測日：8月15日

方向：下り

車線：走行



方向：下り

車線：追越

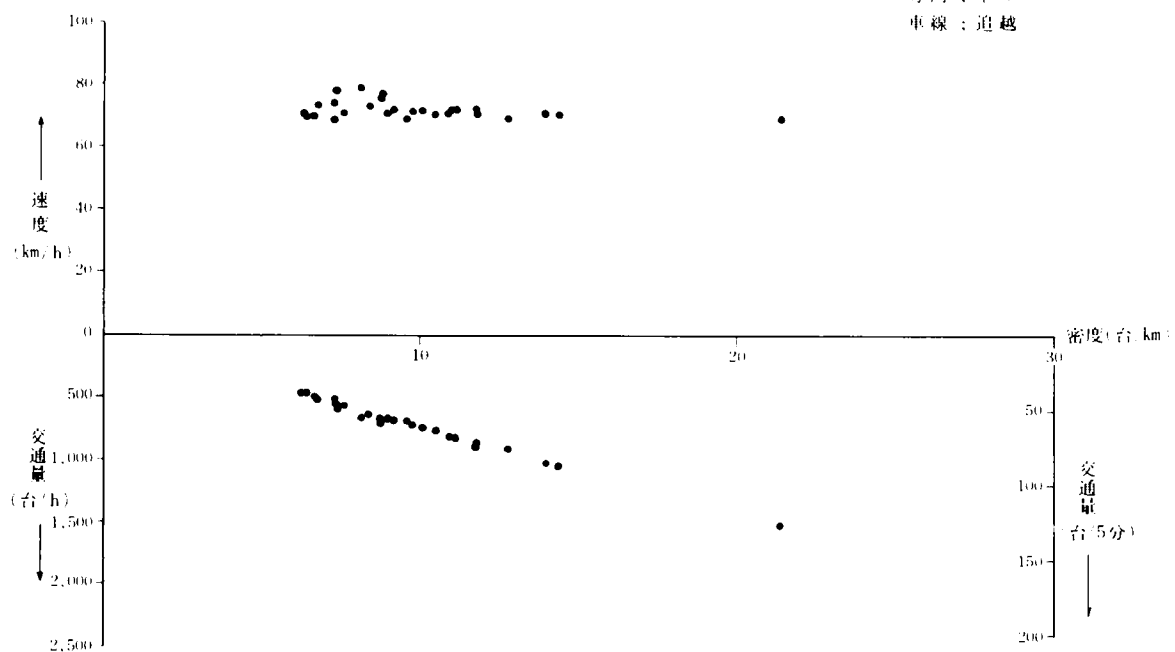
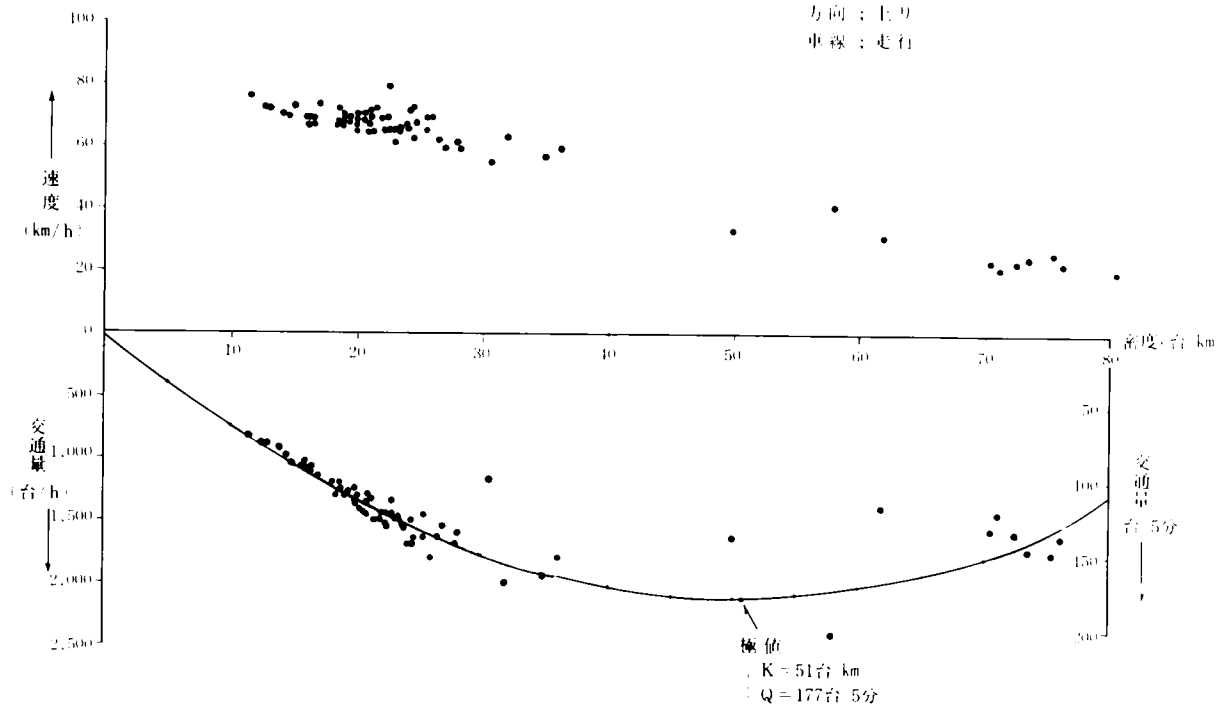


图 2-3-2 (3) 密度、速度、交通量图

观测日：8月16日

方向：上り

車線：走行



方向：上り

車線：超越

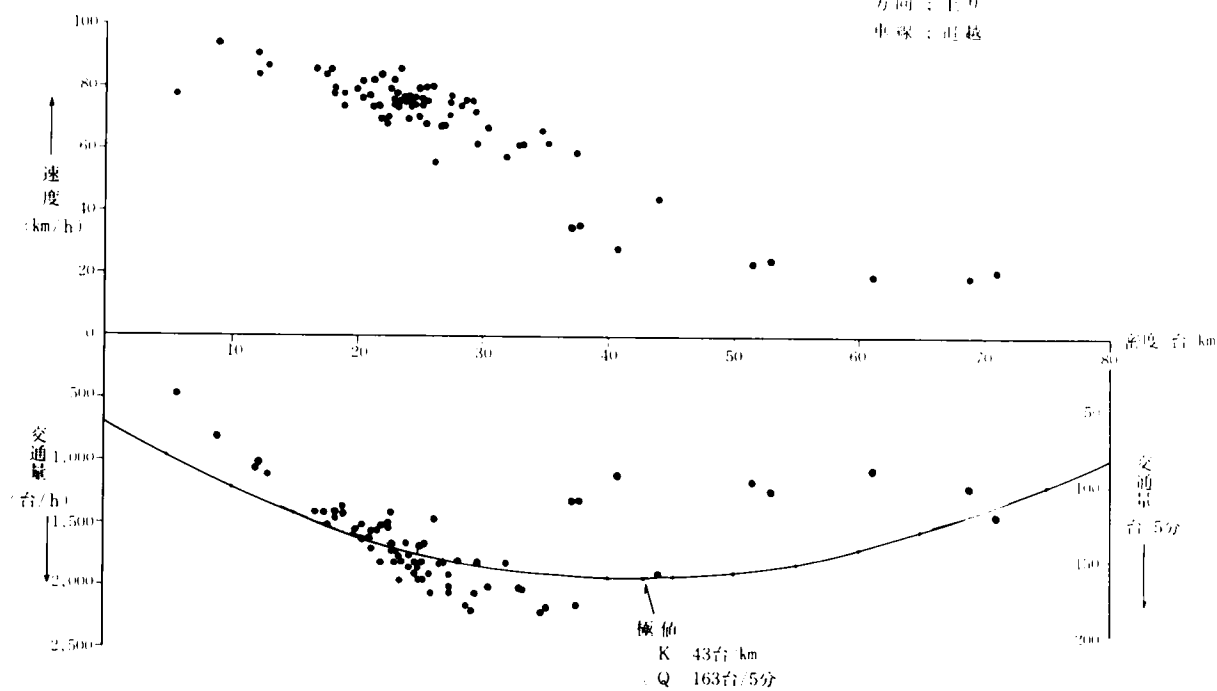
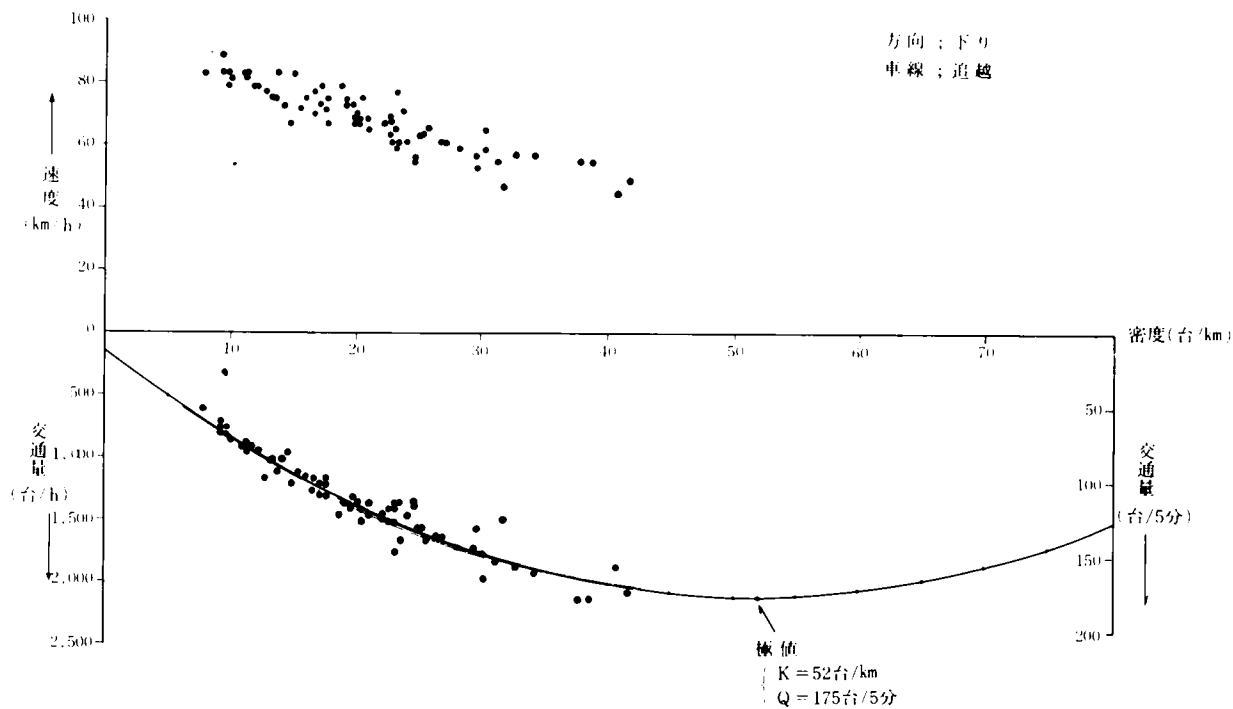
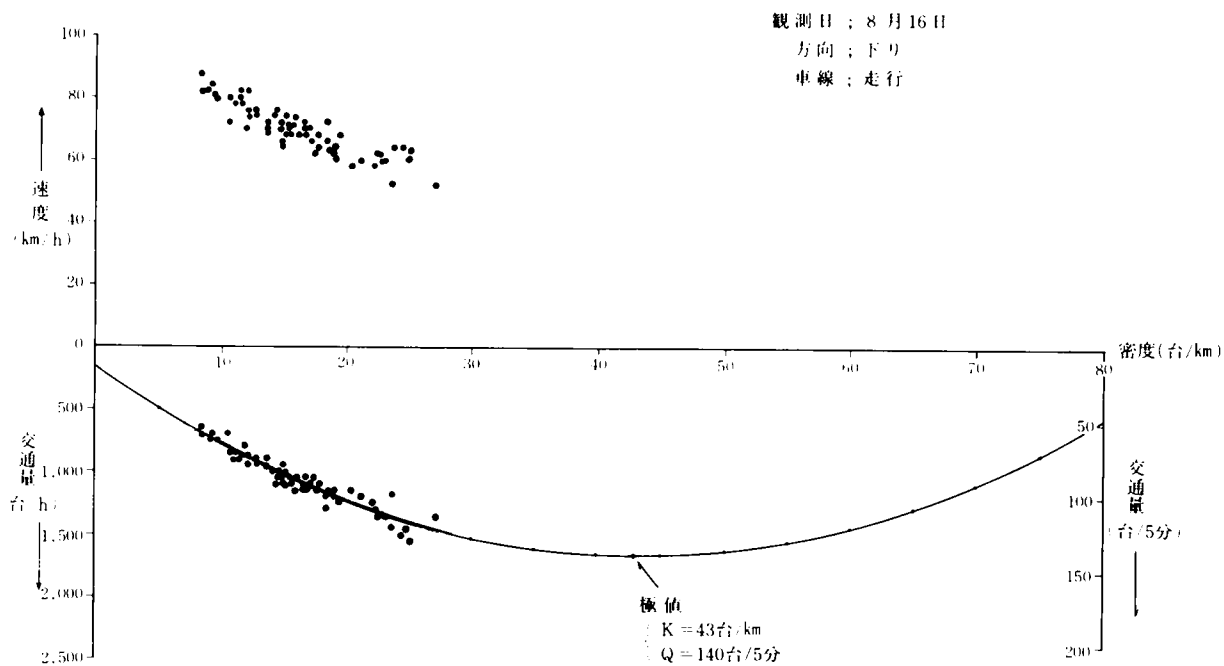


図 - 2 - 3 2 - (4) 密度、速度、交通量図



第2章 参考文献

- (1) 岩本俊輔； システム工学講座、交通システム 第2章5節、広域交通管制用機器、昭和47年1月日刊工業新聞社 P74～84
- (2) 小武孝盛；原田裕治、西村忠夫、福島敏弘； 車両検知器と歩行者検知器、OMRON TECHNICS 35、Vol-10、No.4、1970 P81～99
- (3) 高速道路調査会交通運用委員会渋滞検知施設調査班；トンネル渋滞検知施設調査第3回報告書、昭和48年2月 P4～6
- (4) 高速道路調査会交通工学研究部会交通流監視制御研究班；高速道路の交通流監視制御装置に関する研究報告書、昭和46年2月 P70～73
- (5) 前掲(5)、P90
- (6) 日本道路公団経済調査室；東名・名神高速道路実績交通量解析研究、昭和48年2月、P113～115
- (7) 高速道路調査会；交通工学研究部会交通流監視制御研究班；高速道路の交通流監視制御装置に関する研究報告書、昭和45年3月 P87～101
- (8) 高速道路調査会；交通工学研究部会交通流監視制御研究班；高速道路の交通流監視制御装置に関する研究報告書、昭和48年2月 P119～134
- (9) 日本道路公団高速道路名古屋管理局、八千代エンジニアリング株式会社；名神高速道路の走行実態調査報告書、1970年10月 P76～79

第 3 章 車両検知器の車線配置論

第3章 車両検知器の車線配置論

3-1 地方部高速道路における走行実態と異常通行

3-1-1 計測誤差に影響を及ぼす交通流特性の各要素

2章までの議論で一車線交通流における車両検知器による交通量計測誤差および最適スキニングの交通工学的見地からみた理論値が求められたが、計測誤差と最適スキニングを推定するにあたって、その結果に大きな影響を及ぼす交通流特性の要素としては、表-2-7の計算例からも明らかのように交通量、オキュパンシーおよび大型車混入率であった。また名神高速道路における車両検知器の検知精度実測結果からみて、地方部高速道路の標準的車線数と考えられる片側2車線の断面交通量を計測する際、その誤差に最大の影響を及ぼすものは追越車線と走行車線の両車線にまたがって走行する、いわゆる異常走行車の存在であることも明らかになっている。

本節では交通発生モデルおよび計測過程確率モデルを多車線交通流に適用するにあたって定めておかなければならない上記諸要素についての理論または実測値を紹介しモデルを用いて計算を行なう場合の諸要素の値の決定を試みるものである。

3-1-2 交通量の車線分布

名神高速道路等の一方向に二車線以上ある地方部高速道路の交通量の車線分布については、交通障害のない長区間多車線道路の交通流として取り扱われ、確率理論的モデル、シミュレーションモデルおよび実測値に基づく経験的モデル等数多くの研究が行なわれている。すなわち初期の研究においては G・F・Newell は車両の挙動を希薄気体中の分子の動きにたとえ断面交通量等の交通流特性の予測を行なっている。⁽ⁱ⁾ また A. Renyi は往復分離した4車線道路における追越車線上をより低い速度で走行する車によって高速車が被る遅れ時間を理論的に解析している。⁽ⁱⁱ⁾ さらに Homer, J. Holland は A. J. Miller, W. Gordon, G. F. Newell, R. L. Miller 等によって検討されてきた対向二車線道路における追従、追越の確率モデルを1方向二車線および三車線の交通流に適用しシミュレーションの手法を用いて交通量の車線分布を求めている。⁽ⁱⁱⁱ⁾ 同様の研究がわが国でも佐々木、明神、井上等によって行なわれている。^(iv) 実測値の確率的解析の面では A. J. Miller が車両が通過後、一定時間の後にさらに1台の車両が通過する確率 (termination rate) の車線間の関係づけを試みるなど種々の研究が行なわれている。

以上のように交通量の車線分布については確率的にも興味の深い問題である。ここでは前項で述べたように計測過程の確率モデルの多車線道路への適応性を検討するのが主目的であるので、交通量と

オキュパンシーの関係がモデル形成上の基礎として用いられた名神高速道路における交通量と走行車線利用率の実測結果から交通量の車線分布を推定することにする。図-3-1-1は名神高速道路天王山、梶原トンネル管理所前の常時交通量観測装置のアウトプットのうち昭和46年5月2日の資料を5分間交通量と追越車線利用率の関係としてとりまとめたものである。図中の曲線は井上等の研究による車線分布モデルの結果のうち最適のケースを併記したものである。図中 v は低速車の速度、 V は高速車の速度（共に km/h ）であり、それぞれの仮定走行ルールは次のように考えられている。⁽²⁾

- 1) 低速車は一定速度 v でつねに走行車線上を走行する。
- 2) 高速車は走行車線上を速度 V で走行しているが低速車に追いついたときには追越車線に必要な車頭間隔（前後に d_2 以上）が見出されるまでは速度 v で追従する。車線変更後は速度 V で追越走行を行なうが走行車線上に必要な車頭間隔（前車と d_2 、後続車と d_1 、さらにある一定の時間連続して高速走行が期待できる距離 d の和、 $d_1 + d_2 + d$ ）が見い出されれば走行車線にもどる。

なお図中の最適曲線では低速車混入率 (ϕ) が0.4、すなわち40%で $d = 0.2 \text{ km}$ 程度にとった場合観測データによく適合しているという結果を得ているが、ここでいう低速車混入率には前章の交通発生モデルの際定めた車両の大きさ、主として車長から分類した大型車混入率とは異なり、軽自動車や普通トラック等も含めた低速車の混入率であることに注意しておく必要があり、おのずと大型車混入率よりも大きい値の低速車混入率が図中の最適曲線に対応しているものと考えられる。

参考までに昭和43年8月に東名高速道路綾瀬バスストップ付近の跨道橋で高速道路調査会6車線区間調査専門委員会⁽³⁾によって観測された結果を6車線における交通量の車線分布の例として図-3-2に示す。この実測値の傾向は1965年度版Highway Capacity Manualに示される交通量の変化と交通量の車線分布曲線によく類似しているものである。また図-3-1と比べると走行車線と追越車線（図-3-2ではそれぞれ第1車線と第2車線に対応）の逆転領域が15分間交通量になおして300～350台と4車線とほぼ等しい値を示している。

3-1-3 大型車の車線分布

車種毎の車線分布については交通量の車線分布ほどに理論的な成果を得てはいない。確率論的検討においては車種というよりも低速車と高速車といった速度特性による区分けによって多車線交通流の挙動を追求しており、大型車、小型車といった区分は明確化されていない。前節のHollandのモデルにおいても交通流を形成する個々の車の特性を、自由交通流の実測値から得られる希望速度の分布に従った速度を持つ車両を発生させシミュレーション手法を用いて多車線道路における追越、追従さらに車線分布等の計算値を得て、実測結果との比較が行なわれている段階である。

実際のな問題として、舗装構成の決定や分合流部での幾何構造設計等において詳細な検討を行なう

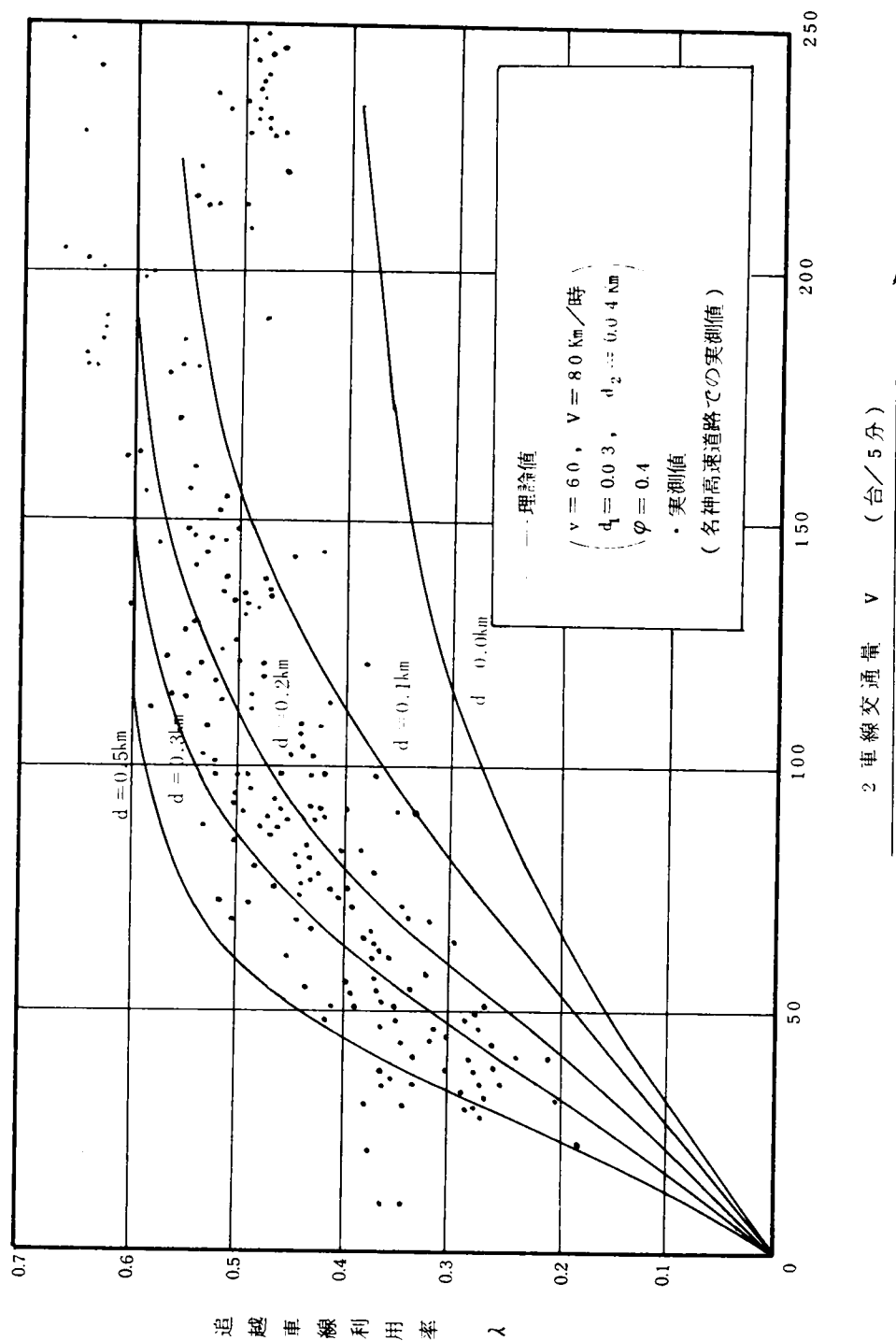
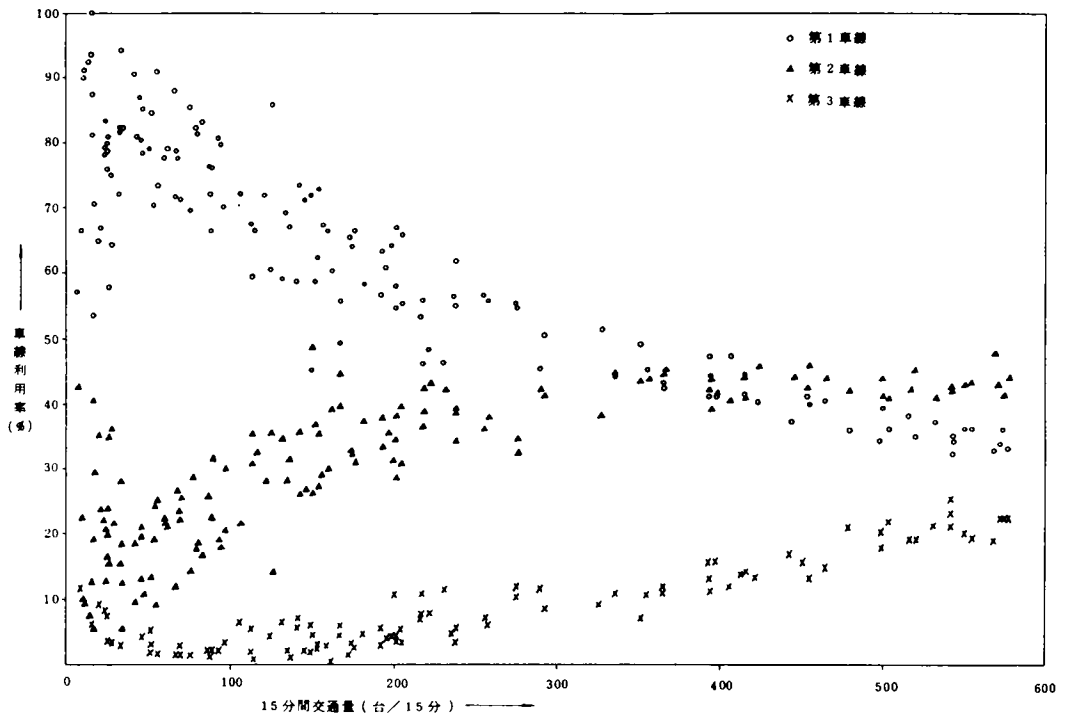


図 3 1 交通量と追越車線利用率

(A)

(8/3 12:00~8/4 24:00 上り線)



(B)

(8/3 12:00~8/4 24:00 下り線)

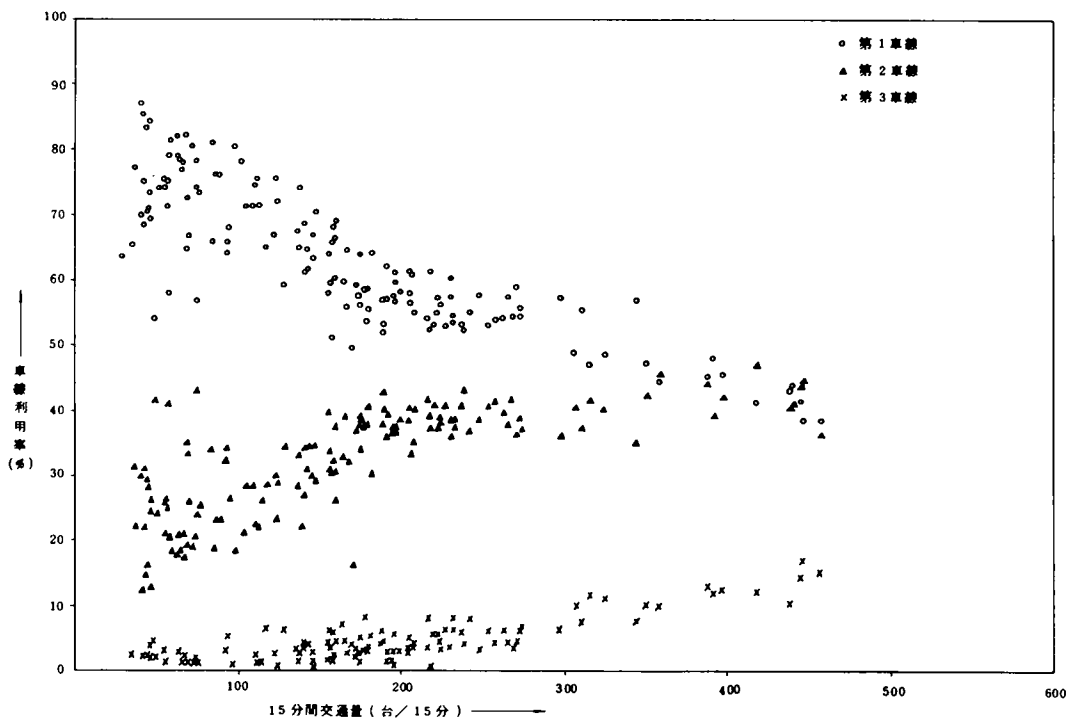


図-3-2 6車区間における交通量の車線分布

場合に車種別の車線分布を考慮する必要がある場合も考えられるが、いずれも交通実態調査、または車両相互の挙動に対する経験値や理論値に基づいたシミュレーションに依って個々の問題の解決が試みられている。

交通量計測過程モデルの多車線への適用においてもこれまで行なわれた交通実態調査の結果から妥当と思われる仮定を立てざるを得ないが、図-3-3⁽⁴⁾に示す実測例に示されるように大型車類の車線分布は交通の車種別構成や道路構造、線形、観測時間帯等多くの条件に左右されるが、交通量とオキュパンシーの関係が得られており、これに基づいて、交通量計測過程モデルの試算を行なった名神高速道路の実測例からみて走行車線における大型車混入率は追越車線の大型車混入率の2ないし2.5倍程度と考えてよいであろう。なお図-3-4⁽⁴⁾に示す6車線区間における車線別車種構成は前項図-3-2に対応するもので観測時期が8月の第1日曜日というレジャー交通による年間最大交通を予測しながら実態調査期日を設定しただけに大型車混入率が非常に小さく、この場合第1車線に大型車の大半が留まっていることが示されている。

さてここで交通量と大型車混入率の車線分布が与えられた場合のオキュパンシーの車線毎の変動について簡単な考察を試みる。というのは図-2-18から21までおよび図-2-25等々に示されている交通量とオキュパンシーの関係は実際には車線別に配置された車両検知器から得られる車線毎のオキュパンシーを単純に平均したものが示されており、一車線交通流の計測過程を考察した第2章では単に平均値を用いたが、少なくとも二車線以上の交通流を検討の対象にする場合には、車線毎のオキュパンシーを考える必要があるからである。

時間オキュパンシーをその定義にもどって考えると、ある一地点での計測時間全体に占めるその地点に車が存在した時間の割合がオキュパンシーでこれをQとすれば、

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{v_i}}{t} \dots\dots\dots (3-1)$$

ここに

- t ; 計測時間
- n ; 時間T内に通過した車の台数
- li ; i番目の車の車長
- vi ; i番目の車の車速

である。式(3-1)中、 l_i / v_i は図-2-16に示される車両占有時間にほかならず、式(3-1)は観測時間内の通過車両全てについて車両占有時間を集計したものを観測時間tで除したものが時間オキュパンシーであると定めていることになる。

地 点 名 称	A 地 点	B 地 点
調 査 位 置	泰 荘 P A 付 近 下 り 線	草 津 P A 付 近 上 り 線
調 査 日 時	4 6 年 1 1 月 1 6 日 9 : 3 0 ~ 1 1 : 3 0	4 9 年 1 1 月 1 6 日 1 6 : 0 0 ~ 1 8 : 0 0
平 均 交 通 量	5 2 0 台 / 時 (T = 3 7.5 %)	1 5 9 0 台 / 時 (T = 2 6.0 %)

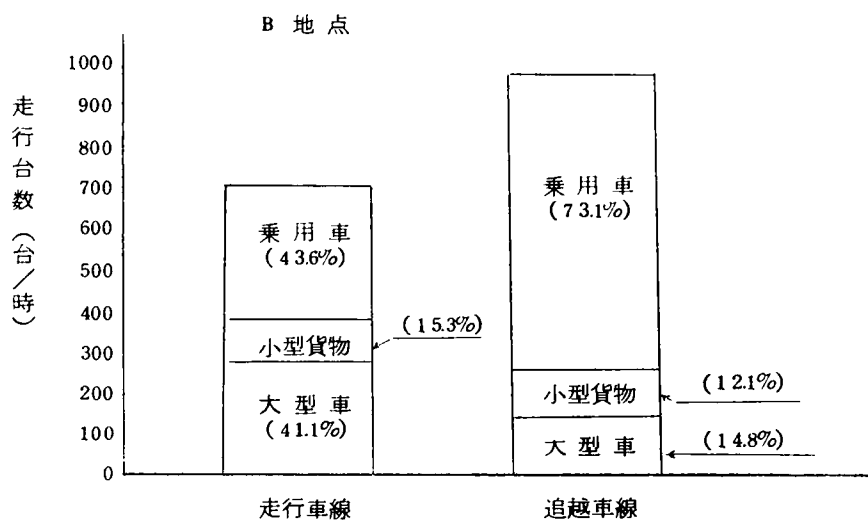
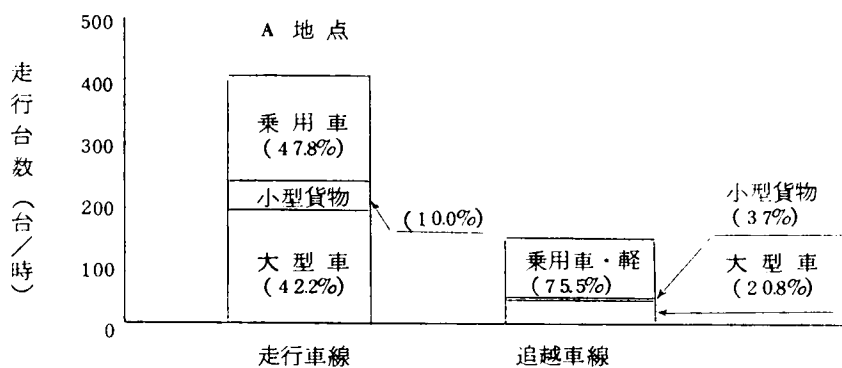


図-3-3 (その1) 名神高速道路における車種別の車線利用状況実測例

地点名称	C 地 点	D 地 点
調 査 位 置	千里山跨道橋 (5 2 0.3 K P)	鷄林橋 (4 9 9.7 K P)
調 査 日 時	4 6 年 1 2 月 7 日 9:00~11:00(上り) 16:00~17:30(下り)	4 6 年 1 2 月 7 日 9:00~11:00(上り) 16:00~18:00(下り)
平均交通量	(上り) 1,906台/時 (T=25.1%) (下り) 1,054 " (T=13.6%)	(上り) 1,873台/時 (T=24.2%) (下り) 2,183 " (T=15.1%)

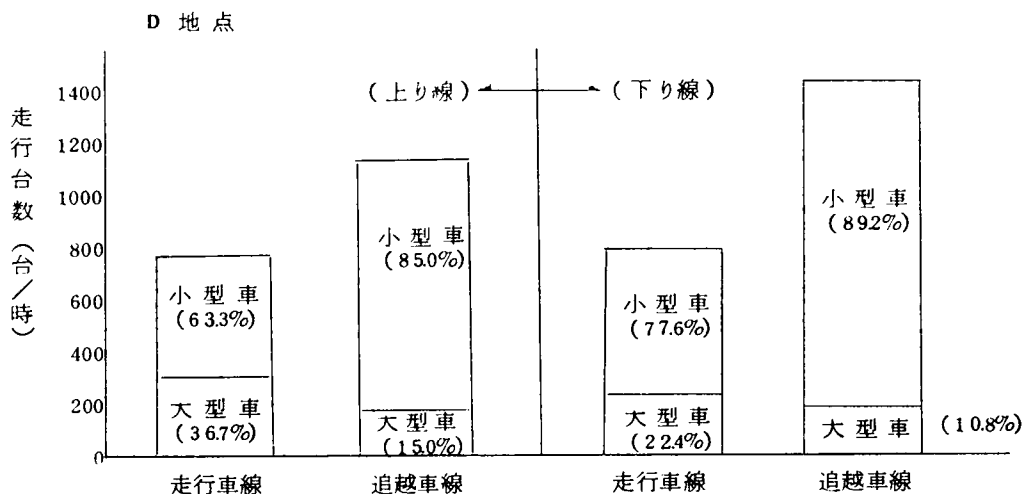
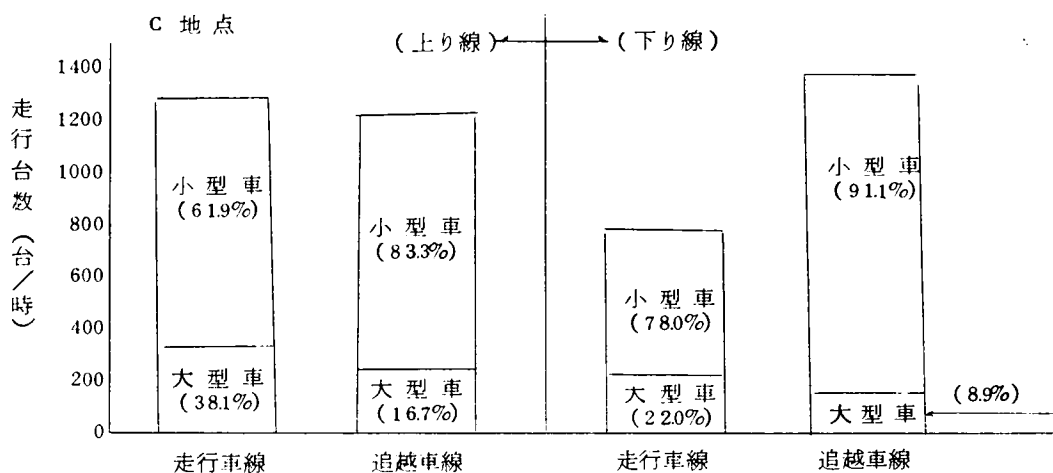


図-3-3(その2) 名神高速道路における車種別の車線利用状況実測例

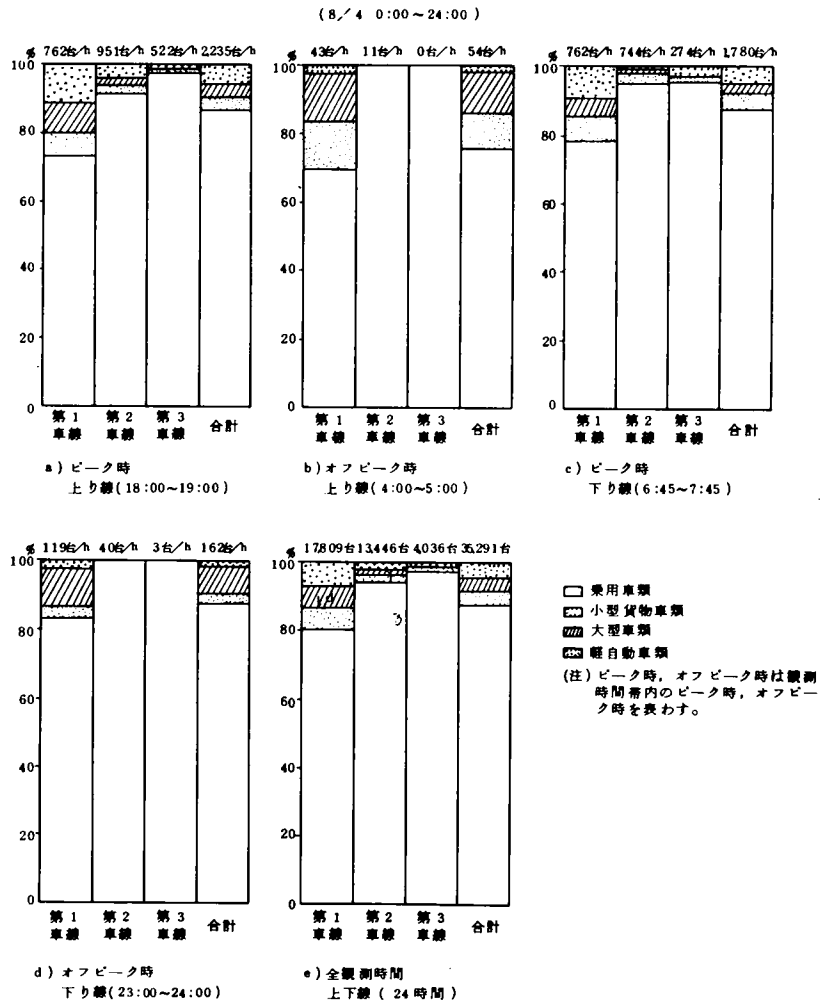


図-3-4 東名高速道路における車種別車線別状況実測例

いま、式(3-1)で全ての車両について車両占有時間を考えたかわりに通過車両を大型車と小型車に分けて考え、それぞれについての車両占有時間を O_c と O_t とすれば

$$Q = \frac{\{(1-T')O_c + T'O_t\}n}{t}$$

と書きかえることができる。さて前項および本項において交通量および大型車混入率の車線分布については実測値からほぼその値を定めることができるから、名神高速道路のような地方部二車線道路について考えると、断面交通量を V (台/時)、追越車線利用率を λ 、走行車線および追越車線の大型車混入率をそれぞれ T_1 、 T_2 とすれば

$$\begin{cases} Q_1 = V(1-\lambda)\{(1-T'_1)O_c + T'_1 O_t\} / 3600 \\ Q_2 = V \cdot \lambda \{(1-T'_2)O_c + T'_2 O_t\} / 3600 \end{cases} \dots\dots (3-2)$$

として車線別の時間オキュパンシーを求めることができる。ただし実際には車線別時間オキュパンシーの単純平均値と5分間交通量の関係が前述のとおり図2-18~2-21等において求められているので式(3-2)から求められる車線別時間オキュパンシーの比を求め、 $Q = (Q_1 + Q_2) / 2$ の条件のもとに図2-18~2-21等に対応する車線別オキュパンシーを求めたほうがより現実の値に近い車線別オキュパンシーが求められると考えられる。

3-1-4 異常通行車

昭和46年度の高速度道路調査会交通流監視制御研究班の報告書では、異常通行とは、車両検知器の検知範囲内を2台の車両が並進する場合、分解能以下の車両間隔で連続して通行する場合、および検知車線をはみだして通行する場合の三種をあげ、さらに本線上およびオンランプでは緊急時以外は、ほとんど並進や分解能以外での異常通行状態は少なく、車線移行などによる車線をはみだし、またははみだして通行する異常通行が大部分を占め、オフランプ上では渋滞時の並進および分解能以下の走行と平常時のカーブの内側を走るはみだし通行等の異常通行が多いとしている。ランプ上の複雑な走行に対しては前章2-4-2の名神高速道路における精度測定の例でランプにおける超音波式車両検知器の検知精度実験の例に示されるように検知器の設置方式と検知範囲の調節等によって計測精度が非常に高くなることが示され計測過程モデルの適用の可能性も示された。ただしこのような条件のもとでの異常通行と検知精度を対比させた実測例が見られないのでここでは主として本線上の車線のはみだしまたは、またぎ等の異常通行について考察を加える。

まず車線のはみだしおよびまたぎの原因となる車線変更形態の実測例を図-3-5および図-3-6に示す。図-3-5⁽⁵⁾は昭和45年8月道路公団名古屋管理局が名神高速道路の吹田サービスエリア

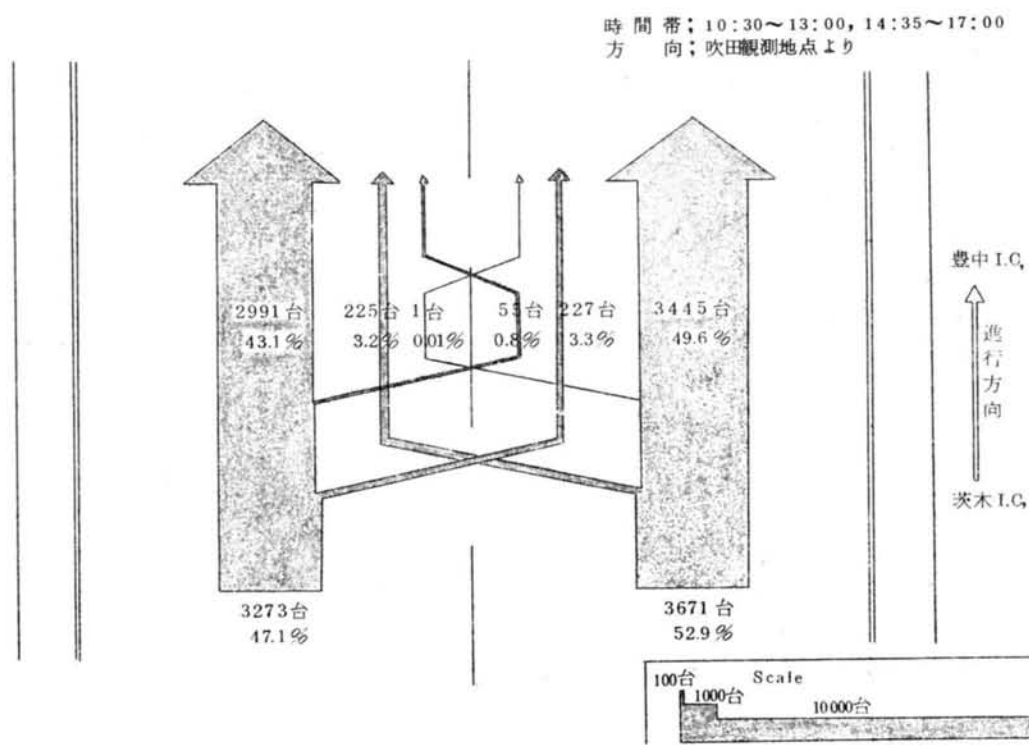
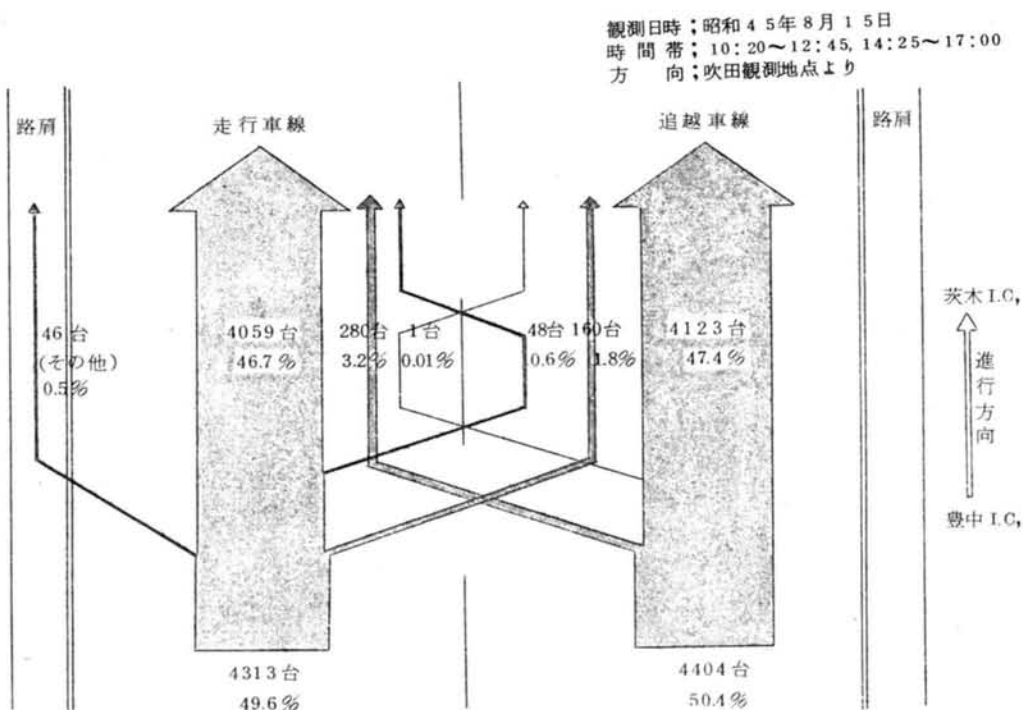
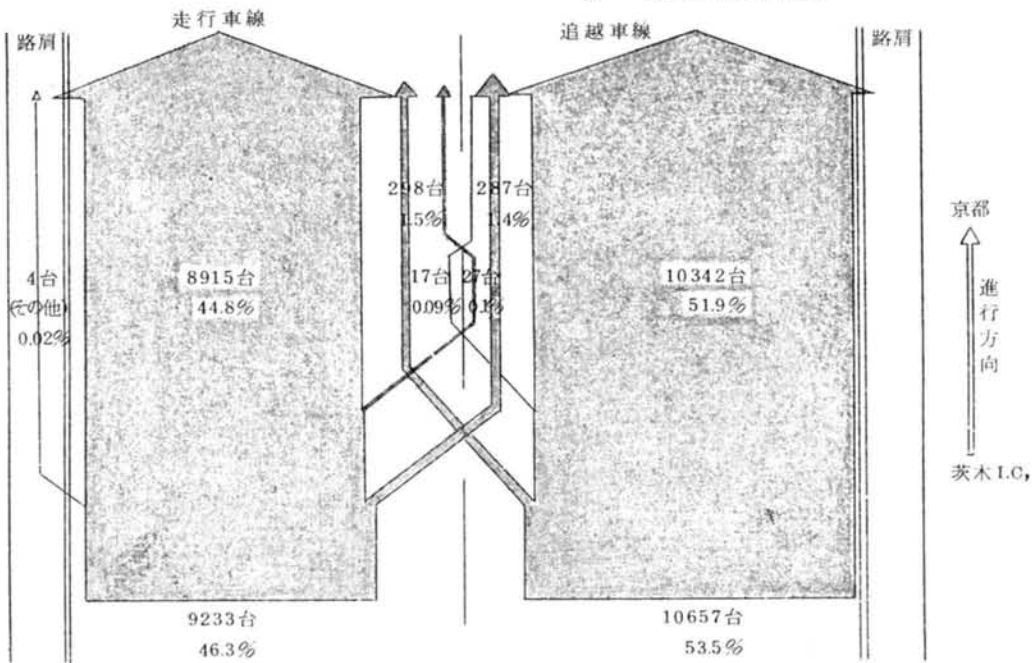


図-3-5(A) 名神高速道路における車線変更形態の実測例 (その1)

観測日時：昭和45年8月16日
 時間帯：9:40～13:00, 14:00～17:00
 方向：板井観測地点上り



時間帯：9:40～13:00, 14:00～17:00
 方向：板井観測地点下り

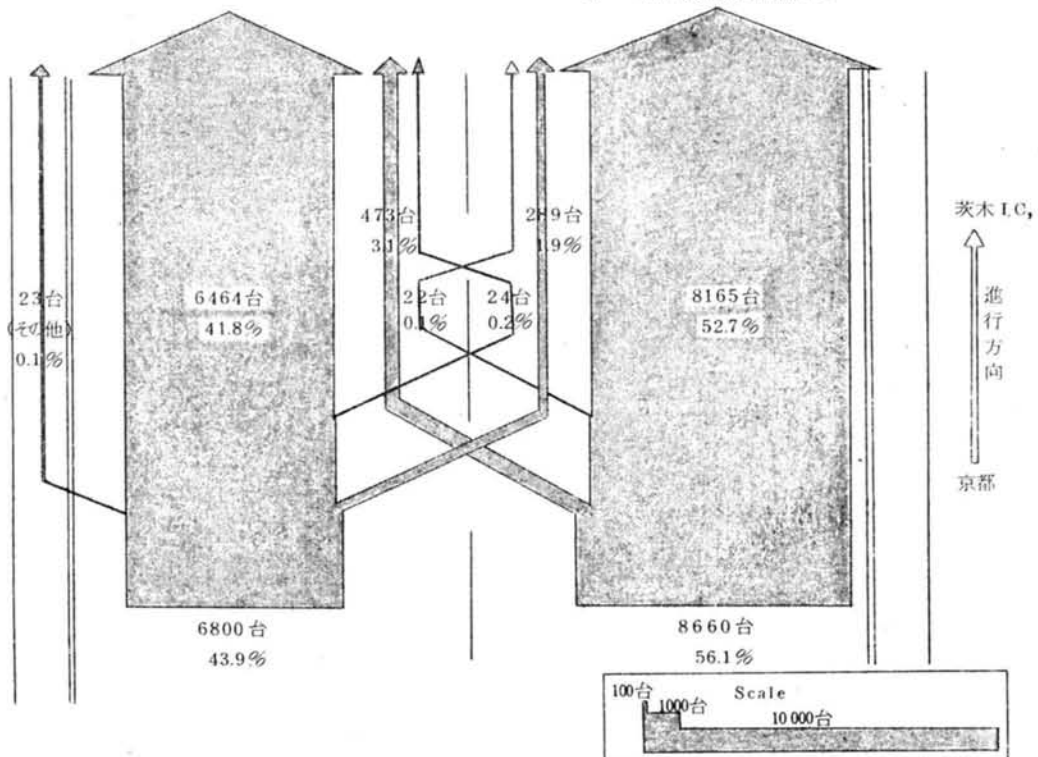


図-3-5(B) 名神高速道路における車線変更形態の実測例(その2)

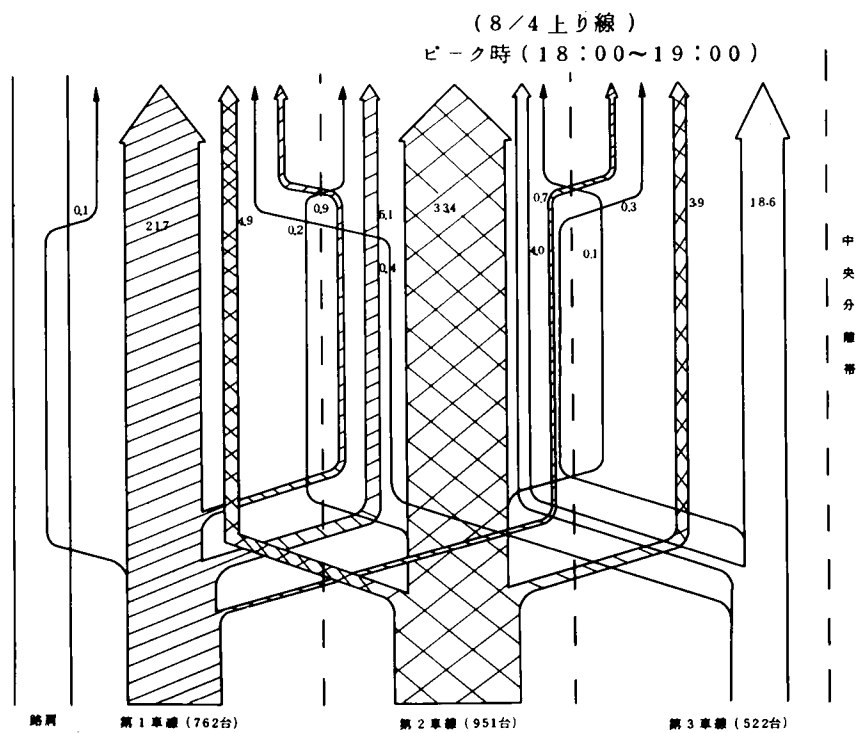
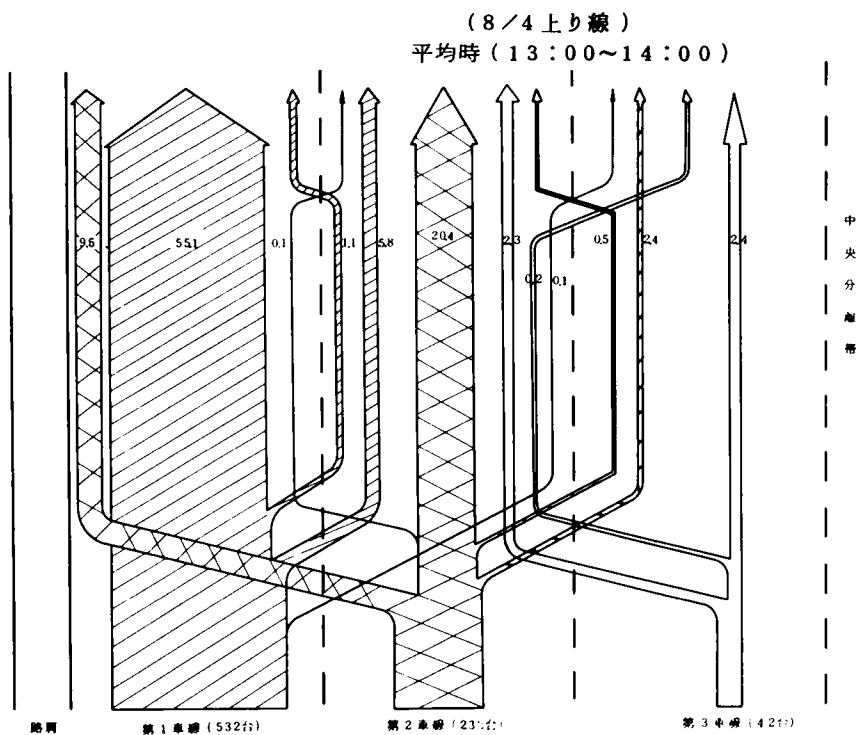


図-3-6(A) 東名高速道路6車線区間における車線変更形態の実測例(その1)

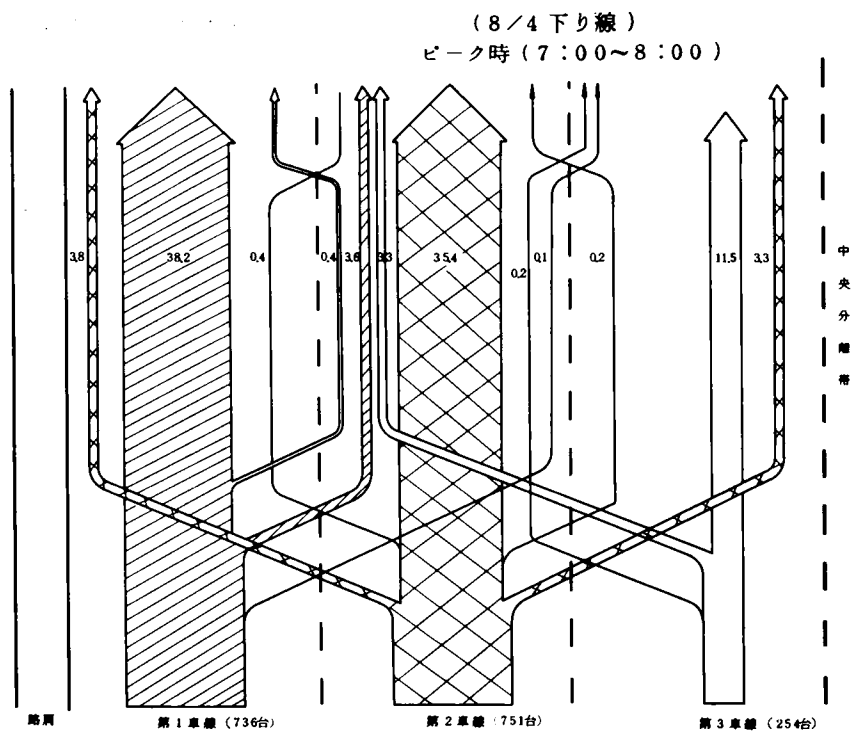
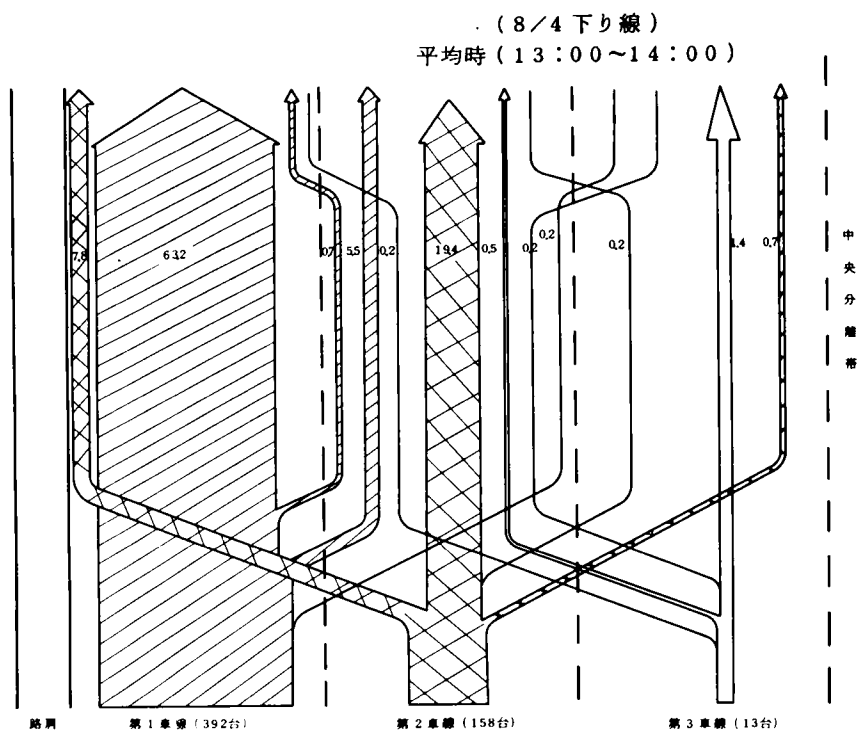


図-3-6(B) 東名高速道路6車線区間における車線変更形態の実測例(その2)

ア付近および桜井パーキングエリア付近で行なった実測例で図-3-5(A)が前者の(B)が後者の観測地点で高速道路上400m間の車線変更形態を目視により観測した結果をまとめたものである。また図-3-6⁽⁶⁾は昭和42年8月高速道路調査会の6車線区間調査専門委員会によって東名高速道路の綾瀬バスストップ付近で行なった同種の実測による結果である。いずれの場合も冒頭に記された本線上の車線をまたぐような異常通行は追越し等による車線変更の結果とみなされること、したがって走行～追越車線間の車線変更が大部分で、路肩走行といった異常通行は非常にまれであることが示されている。

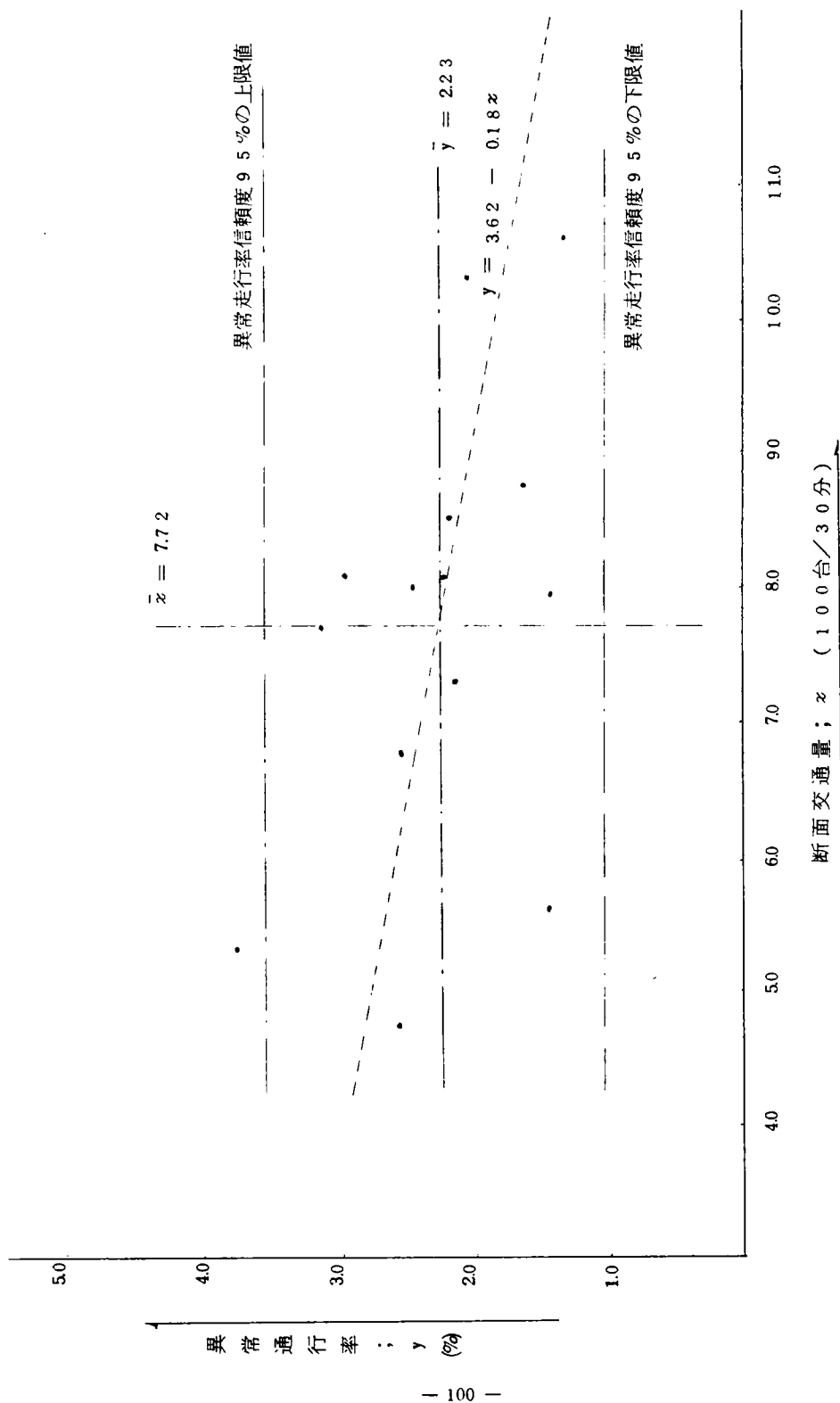
さて異常通行の原因である追越し等による車線変更については車線変更に要する時間や走行距離の分布または交通量に関連つけた多車線道路の車線変更の発生頻度等について多くの調査研究が行なわれているが、これらの交通現象として交通流の車線間の分布が車両検知器の設置位置に関連づけて調査されたものは限られている。多くはインターチェンジの変速車線付近のマーキングやランプの線形さらに本線の車線巾に関連づけられた調査である。ただし地方部高速道路の異常通行と車両検知器については、高速道路調査会の交通流監視制御研究班によって多くの研究調査が行なわれている。まず理論的なアプローチとしては昭和46年度の研究で高速および低速の二車種からなる交通流を片側二車線で一地点に並列に検知器を設置した場合を想定した追越走行挙動の確率モデルを構成し種々の交通量と低速車の割合から考えて理論的な計測誤差は高々1%以内であるとしている。またループ式車両検知器の配置方法と計測精度の調査も同じく昭和46年度に一般道路上で行なわれているが、この詳細については次節で紹介する。

ここでは同委員会が昭和45年⁽⁷⁾および46年⁽⁸⁾に調査した名神高速道路本線上の車両検知器設置位置付近で調査した異常通行台数および異常通行率の観測資料に確率的検討を加えて、本研究の計測過程モデルへの異常通行の適用資料を得ることを試みる。まず表-3-1に上記調査の結果をまとめて示す。図-3-5および図-3-6に示されたように異常通行はほとんどが2車線の中央レーンマークをまたぐものが大部分をしめている。なお資料の選定にあたっては交通量の激変する栗東本線およびインブット区間である西宮本線の試料は対象外としている。以上の観点から選んだ実測資料は14箇と資料数としては乏しいが交通量と異常通行率の関連性をチェックするためにプロットしてみると図-3-7のように一見して異常通行率は交通量が増加するにつれて減少し、また異常通行率の変動巾も交通量の増加に伴ない少なくなっていく傾向がうかがえる。前章で述べたように断面交通量の計測誤差のうちその要因として異常通行の占める割合が非常に大きいので異常通行率と交通量の関係を統計的に検定を試みると次のとおりである。断面交通量を100台/30分の単位にとって x としこれに対して異常交通率は式(3-3)に示すように x に対して y 載片 α 、方向係数 β をもつ直線回帰式を仮定する。さらに異常交通率の式(3-3)からの偏差は平均値が0で分散が σ^2 の正規分布を仮

定するがこの際簡単にするため σ^2 は交通量に無関係に一定と考える。最小自乗方法による α, β の推定値 $\hat{\alpha}$ および $\hat{\beta}$ は式 (3-4) および式 (3-5) から、また σ^2 は式 (3-6) から求めることができる。

表-3-1 名神高速道路本線における異常通行データ

検知器設置場所 (目測地点)	観測年月日	観測時刻	総通行 台数	異 常 通行台数	異 常 通行率(%)	資 料 番 号
西宮本線上り	45-4-28	12:25~12:55	539	9	1.67	—
豊中本線上り	45-5-1	14:25~14:55	795	11	1.38	1
豊中本線上り	45-5-1	13:25~13:55	767	24	3.13	2
吹田本線上り	45-4-30	15:55~16:25	809	18	2.22	3
吹田本線下り	45-4-30	14:55~15:25	852	18	2.11	4
茨木本線上り	45-4-30	17:35~18:05	798	19	2.38	5
茨木本線下り	45-4-27	16:45~17:15	873	14	1.60	6
京都南本線下り	45-5-1	10:25~10:55	675	17	2.52	7
栗東本線下り	45-4-27	10:05~10:35	472	19	4.03	—
栗東本線下り	46-5-2	9:30~10:00	433	26	6.00	—
京都南本線下り	46-5-12	11:20~11:50	476	12	2.52	8
茨木本線上り	46-7-8	11:00~11:30	1061	14	1.32	9
茨木本線下り	46-7-8	10:15~10:45	559	8	1.43	10
吹田本線上り	46-5-13	15:00~15:30	730	15	2.05	11
吹田本線下り	46-5-13	16:25~16:55	1031	21	2.04	12
豊中本線上り	46-5-12	13:40~14:10	806	23	2.85	13
豊中本線下り	46-7-8	12:50~13:20	570	21	3.68	14
西宮本線上り	46-7-8	15:40~16:10	880	55	6.25	—



図一 3 - 7 名神高速道路における断面交通量と異常通行率の関係

$$\text{モデル式 } y = \alpha + \beta x + \varepsilon \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

$$B = \hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} = \frac{S_{xy}}{S_x^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) y_i}{(n-1) S_x^2} \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

$$A = \hat{\alpha} = \bar{y} - B \bar{x} = \bar{y} - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) y_i}{(n-1) S_x^2} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{n} - \frac{(x_i - \bar{x})}{(n-1) S_x^2} \right) y_i \quad (3-5)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - A - B x_i)^2 = \frac{1}{n-2} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - A n \bar{y} - B \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) \quad (3-6)$$

表-3-2 交通量と異常通行率の回帰計算表

番 号 (i)	30分間交通量 100台単位 (x_i)	異常通行率 %単位 (y_i)	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	7.95	1.38	10.9710	63.2025	1.9044
2	7.67	3.13	24.0071	58.8289	9.7969
3	8.09	2.22	17.9598	65.4481	4.9284
4	8.52	2.11	17.9772	72.5904	4.4521
5	7.98	2.38	18.9924	63.6804	5.6644
6	8.73	1.60	13.9680	76.2129	2.5600
7	6.75	2.52	17.0100	45.5625	6.3504
8	4.76	2.52	11.9952	22.6576	6.3504
9	10.61	1.31	13.8991	112.5721	1.7161
10	5.59	1.43	7.9937	31.2481	2.0449
11	7.30	2.05	14.9650	53.2900	4.2025
12	10.31	2.04	21.0324	106.2961	4.1616
13	8.06	2.85	22.9710	64.9636	8.1225
14	5.70	3.68	20.9760	32.4900	13.5424
$\sum_{i=1}^{14}$	108.02	31.23	234.7179	869.0432	75.7970

$$\bar{x} = \frac{108.02}{14} = 7.72 (100\text{台}/30\text{分}), \quad \bar{y} = \frac{31.23}{14} = 2.23 (\%)$$

$$\begin{aligned} \hat{\beta} &= \frac{\sum_{i=1}^{14} x_i y_i - 14 \times \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^{14} x_i^2 - 14 \times \bar{x}^2} = \frac{234.7179 - 14 \times 7.72 \times 2.23}{869.0432 - 14 \times 7.72^2} \\ &= \frac{234.7179 - 241.0184}{869.0432 - 834.3776} = \frac{-6.3005}{34.6656} = -0.18 \end{aligned}$$

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - B\bar{x} = 2.23 - (-0.18) \times 7.72 = 2.23 + 1.39 = 3.62$$

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{1}{14-2} \left(\sum_{i=1}^{14} y_i^2 - \hat{\alpha} \cdot 14 \cdot \bar{y} - \hat{\beta} \cdot \sum_{i=1}^{14} x_i y_i \right) \\ &= \frac{1}{12} (75.7970 - 3.62 \times 14 \times 2.23 - (-0.18) \times 234.7179) \\ &= \frac{1}{12} (75.7970 - 113.0164 + 42.2429) = \frac{5.0235}{12} = 0.4186 \end{aligned}$$

$$\therefore \sigma = \sqrt{0.4186} = 0.647$$

$$\therefore \text{回帰式} \quad \begin{cases} y = 3.62 - 0.18x \\ \sigma = 0.65 \end{cases}$$

$B = \hat{\beta} = -0.18$ という値に対して母集団の勾配 β が真に 0 でないかどうかを検討する必要がある。そこで、 $\beta = 0$ という仮定に対して $\hat{\beta} \neq 0$ とすると

$$\begin{aligned} \hat{\beta} &\sim N(\beta, \sigma^2 / (n-1) S_x^2) \\ 1/\sigma^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta} x_i)^2 &\sim \chi^2_{n-2} \end{aligned}$$

の分布関係が成り立つから

$$\frac{(\hat{\beta} - \beta) / \sqrt{\frac{\sigma^2}{(n-1) S_x^2}}}{\sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta} x_i)^2}} = \frac{(\hat{\beta} - \beta)}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta} x_i)^2}{(n-1)(n-2) S_x^2}}} \sim t_{n-2}$$

なる t 分布が成立する。したがって仮定のもとで、もし

$$\frac{|\hat{\beta}|}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}x_i)^2}{(n-2)(n-1)S_x^2}}} > t_{n-2, r}$$

であれば $(1-r)$ の信頼度で仮定は破棄せざるを得ない。数値計算を試みると

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}x_i)^2}{(n-2)(n-1)S_x^2} &= \frac{\sum_{i=1}^{14} (y_i^2 - \hat{\alpha} \cdot 14 \cdot \bar{y} - \hat{\beta} \sum_{i=1}^{14} x_i y_i)}{(14-2) \left(\sum_{i=1}^{14} x_i^2 - 14 \bar{x}^2 \right)} \\ &= \frac{5.0235}{12 \times (869.0432 - 14 \times 7.72^2)} \\ &= \frac{5.0235}{12 \times (869.0432 - 834.3776)} = \frac{5.0235}{41.59872} = 0.121 \end{aligned}$$

であるから

$$\begin{aligned} \frac{|\hat{\beta}|}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}x_i)^2}{(n-2)(n-1)S_x^2}}} &= \frac{0.18}{\sqrt{0.121}} = \frac{0.18}{0.11} \\ &= 1.636 < t_{12, r=0.05} = 2.179 \end{aligned}$$

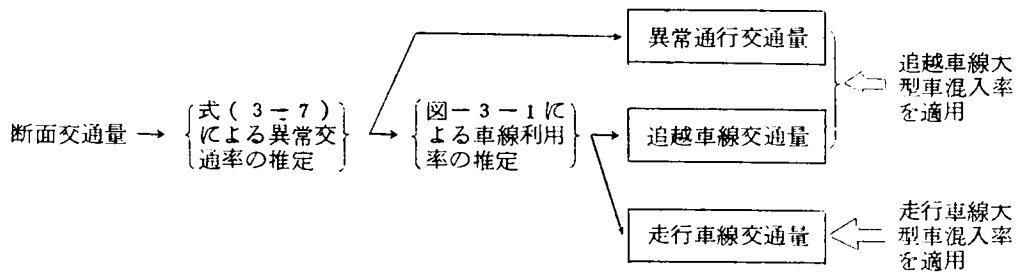
したがって、信頼度 95% で $\beta = 0$ の仮定は破棄できないことになり、強いて交通量と異常通行率の関連づけを考える必要はないことが明らかになり、異常通行率については回帰直線モデルで仮定した平均 0、偏差 $\sigma = 0.65$ をもつ ε の変動のみについて考慮し 95% の信頼度をもつて異常通行率は、

$$\left. \begin{array}{l} \text{上限値； } 2.23 + 0.65 \times 2 \cong 3.5 (\%) \\ \text{下限値； } 2.23 - 0.65 \times 2 \cong 1.0 (\%) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3-7)$$

と定めてよいと判断される。平均値としては 2.25 (%) を用いてよいであろう。

最後に車線変更を行なう車輛群のうちに占める大型車の混入率について考察を加える。表 3-3 に 図 3-5 (A) および (B) に示した昭和 45 年 8 月に実施された名神高速道路吹田および桜井観測地点における車線変更形態実測調査結果を、各観測地点の上り、下り別に断面交通量、走行車線走行台数、追越車線走行台数、車線変更車両台数およびそれぞれに対応する大型貨物車種の走行台数お

よび大型貨物車類の全交通量に対する比率を示す。表-3-3から明らかなように 車線変更を行なう車両群の大型貨物車混入率は追越車線を走行する車群のそれに 一番 近い値を示している。したがって 走行車線、追越車線および異常通行の各交通量ならびにそれに適応すべき大型車混入率は次のように 考えてよいであろう



すなわち断面交通量が与えられればまず式(3-7)によって異常通行車両の交通量を定め、断面交通量から異常通行交通量を減じた交通量に対して図-3-1を用いて追越車線交通量と走行車線交通量を算定する。そして異常通行交通量と追越車線交通量に、「3-1-3. 大型車の車線分布」の項で述べたように走行車線における大型車混入率は追越車線のその2ないし2.5倍程度という考え方に基づいた追越車線の大型車混入率を適用すれば妥当な走行形態別車種構成を得ることができよう。なお式(3-1)に示した車線別オキュパンシーも同様な考え方を採用してよいであろう。

表－３－３ 走行形態別大型貨物車類混入率の実測例

観 測 地 点 及 観 測 日 時	上り 下り 別	分 類	全 交 通 車	走 行 車 線 走 行 車	追 越 車 線 走 行 車	異常通行車
吹田観測地点 昭和４５年 ８月１５日 上り； １０：２０～１２：４５ １４：２５～１７：００ 下り； １０：３０～１３：００ １４：３５～１７：００	上り	全 車	８，７１７	４，３１３	４，４０４	５３５
		大型貨物車類	５０９	１７０	３３９	３６
		混 入 率	５.８%	３.９%	７.７%	６.７%
	下り	全 車	６，９４４	３，２７３	３，６７１	５０８
		大型貨物車類	４２１	２４１	１８０	２４
		混 入 率	６.３%	７.４%	４.９%	５.３%
桜井観測地点 昭和４５年 ８月１６日 上り； ９：４０～１３：００ １４：００～１７：００ 下り； ９：４０～１３：００ １４：００～１７：００	上り	全 車	１９，８９０	９，２３３	１０，６５７	６３３
		大型貨物車類	４９０	３１６	１８２	９
		混 入 率	２.５%	３.４%	１.７%	１.４%
	下り	全 車	１５，４６０	６，８００	８，６６０	８３１
		大型貨物車類	７００	３２６	３７４	３４
		混 入 率	４.５%	４.８%	４.３%	４.１%

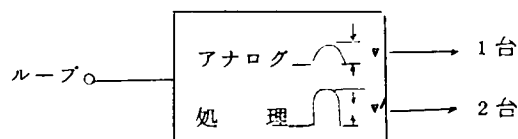
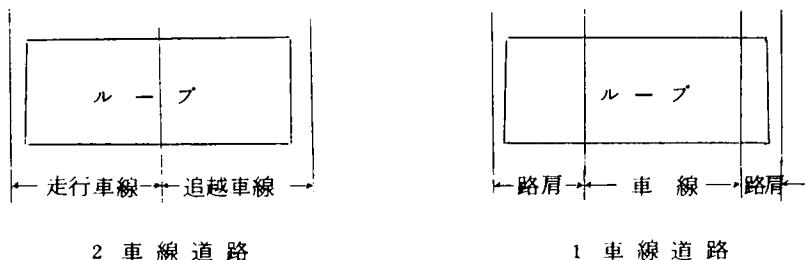
註 交通台数は観測時間帯に走行した総交通台数を表
わす。

3-2 車両検知器の車線配置と実測計測精度

3-2-1 車両検知器の車線配置

前節で述べたように異常通行車両の存在が無視できないような条件のもとで正確な車両の検知を行なうことはきわめて困難な問題であるが、検知子の配置を最適にし、また車線1検知子という方式によらず車線数に対し、適宜検知子の数を増加し、これらの検知器出力の相互関係から通過車両台数を判定すればかなりの高精度が期待できるはずである。このような考え方に基づいて検知子の配置方法については従来より種々考案され、その一部はすでに実施されているが、ここではその中の代表的な方法について述べる。なお検知範囲を明確にするため検知子はループを用いた場合を想定する。各方法による検知子配置およびブロック線図を図-3-8から図-3-11までに示す。⁽⁷⁾

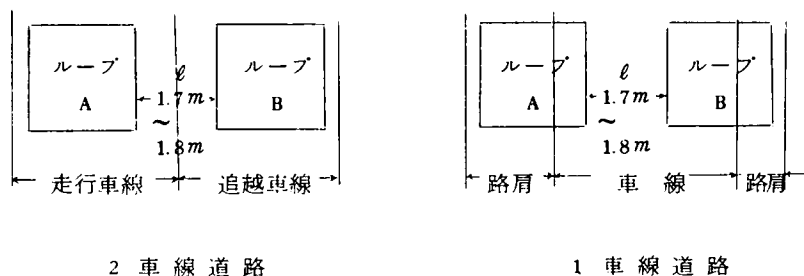
方式-A； 図-3-8に示すもので、1ループで多車線をカバーし、車種に無関係に1台当りのループ定数がほぼ一定であるとみなし、その変化量のアナログ値から台数判別を行なうものである。しかし、実際には図-2-4（ループ式車両検知器の感度特性）に示されるように車種によりその変化量が大きく異なる。また一般にループ式においては自動補正機能が付加されているため渋滞時など車両速度が極度に低下すると見かけの変化量が少なくなり特に長い渋滞の場合は出力が消失してしまうなどあまり実用的ではない。



(注) 2台のときの V' は1台のときの V よりもレベルが高い。

図-3-8 方式A 1ループ式(1, 2車線用)

方式-B； 図-3-9に示すもので、これまで超音波式車両検知器の現地調整で再々検討された方式である。本案では ℓ を小型車の最大巾程度にすることが重要なポイントである。すなわち車両が中央レーンマークをまたいで通行する場合、全く中心を走行することはまれで必ず左右いずれかに片寄って走行するため必ずいずれかの車両検知器で計測される。また軽自動車、大型車がほぼ中心を通過する場合はオーバーカウント、アンダーカウントの誤差を生じるが、軽自動車と大型車の混入率がほぼ等しいかまたは低い場合はきわめて高い精度が期待できる。しかも機構が簡単のため極めて実用的である。



(注) ループ間隔 ℓ は小形車の限界幅 1.7 ~ 1.8 m 程度に選ぶ。

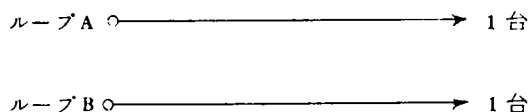
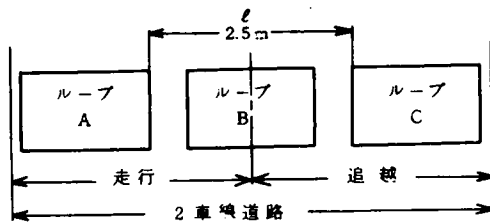


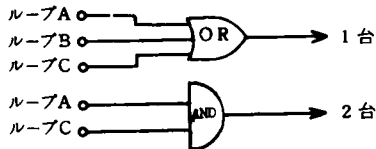
図-3-9 方式B 2ループ式(1, 2車線用)

方式-C； 図-3-10に示すもので、 ℓ の値は大型車の最大巾 2.5 m 程度とし 3 個のループの出力を論理的に処理したものである。仮定 I ~ N のうち特に I を満足する道路構造であれば方式 B に劣らない高い精度が得られ、しかも構成が簡単のため実用性は高い。



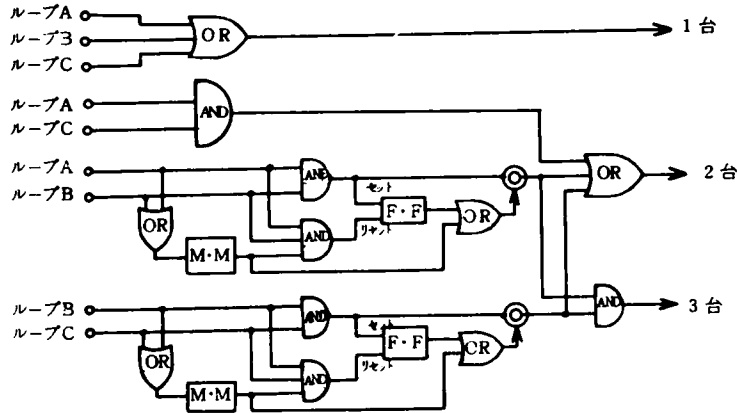
(注) A, Cループ間隔 ℓ は、大形車の
限界幅2.5m程度に選ぶ。

(a) 方式C 3ループ式



- 仮定Ⅰ 3台並進することはない。
 仮定Ⅱ 1台の車両がA, B, C, すべてのループを占有することはない。
 仮定Ⅲ 2台並進するときは、必ずA, Cのループを占有する。
 仮定Ⅳ 1車線+1.2m 内を2台の車両が並進することはない。

(b) 方式D 3ループ式時間差別判別要素付



仮定Ⅰ M·Mにより設定される時間(約300ms)
 以下の車頭時隔で並進する車両はない。

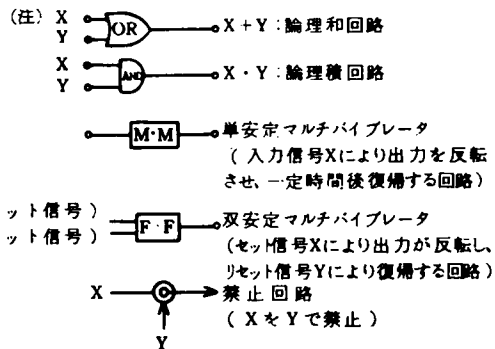
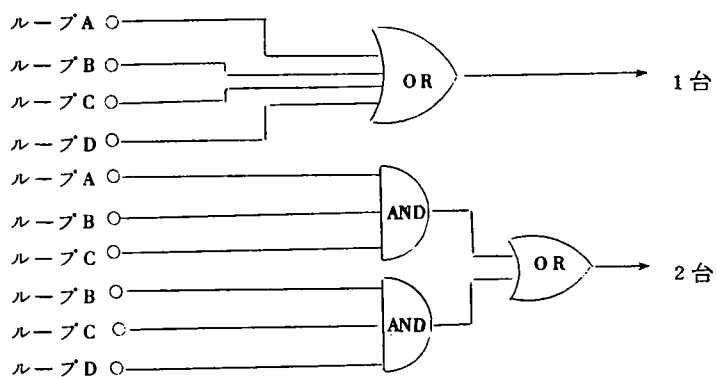
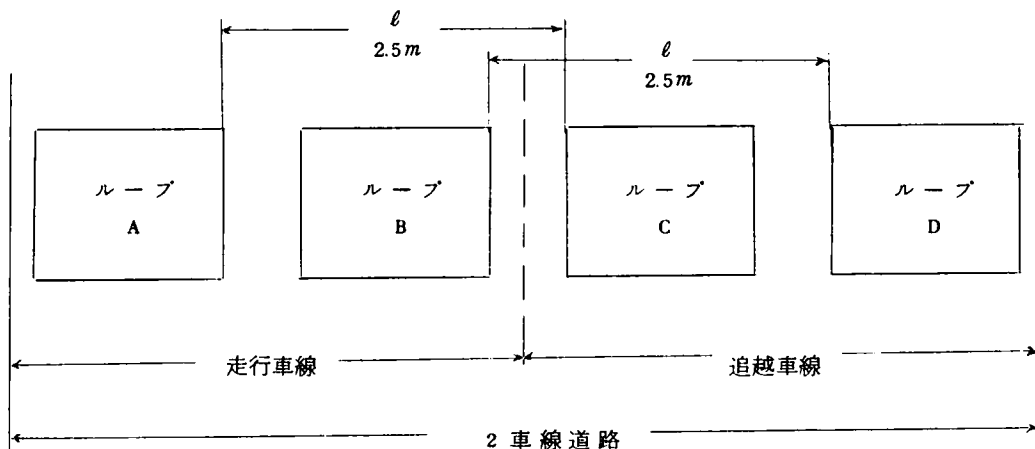


図-3-10 方式C 3ループ式、方式D 3ループ式時間差別判別要素付(2車線用)



仮定Ⅰ 3台並進することはない。

仮定Ⅱ 1台の車両がA B CあるいはB C Dの3ヶのループを占有することはない。

仮定Ⅲ 1車線 + 0.3 m内を2台の車両が並進することはない。

図-3-11 方式E 4ループ方式

方式－D； 方式Cの欠点を補ったもので、3台並進の場合にはその車両相互の車頭間隔を判定し、その車頭間隔が設定された時間以上であれば、各々3台として計測するようにした方法である。異常通行に対するこれまでの方式の中ではもっとも高い検知精度が期待できる。2車線道路において実用しうるループ数としてはこれまでの3ループ方式までであろう。

方式－E； 図－3－11に示す方式Eは方式Cと基本的に何ら変わるところはないが、方式Cの仮定Ⅳの条件を方式Eの仮定のように少しゆるめ、方式Cよりさらに高い精度が期待できるようにしたものである。また方式Dと同様方式Eに時間差判別要素を付加しさらに高精度化することもできる。5ループ式あるいは7ループ式としさらに高精度を期待しようとしたものもあるが、実用性に乏しいためこれらについては説明をばく。

以上車両検知器の車線配置方式をループ式車両検知器を例にとつて簡単な説明を加えたが、地方部高速道路の大部分が2車線であるため、ここでは一方2車線の道路についてのみ述べた。2車線以上の道路でも考え方としては同様である。

3-2-2 車線配置方式と計測精度の実測例

前節で述べた車両検知器の検知器車線配置方式と計測台数の精度については、昭和46年度の高速度道路調査会交通流監視制御研究班の研究活動⁽⁷⁾の一環として、昭和45年12月大阪和泉南線の万代東3丁目付近で異常通行と検知精度に関連づけて実験が行なわれているのでその実験状況および結果を記して車両検知器の車線配置に対する方向づけを行なう。

(a) 実験方法

ループ式車両検知器、試験車、観測人員および16ミリカメラ等は図－3－12のように配置された。測定は1測定が約10分間の連続測定でそれが15回行なわれている。なお試験車は駐車車両が異常通行状態に及ぼす影響をみるため実験区域の下流に駐車させ異常通行状態を発生させたものである。表－3－4に駐車位置、測定時間を示す。また図－3－12に示される当実験に採用された車両検知器の配置と前節で記した方式A～Dまでに対する関係は次のとおりである。

方式1； 2車線1検知器としたもので、前節の方式Aに対応するものである

方式2； 1車線1検知器としたものであるが、車両検知器相互の間隔が1mとなっており、前節の方式－Bの対案ともいうもので、結果的には間隔の狭さに問題点を示し方式－Bの優位を示したのになったものである。

方式3； 1車線1検知器としたもので、前節の方式Bに相当する。

方式4； 2車線3検知器としその出力をロジック処理したもので、前節の方式－Cに相当する。

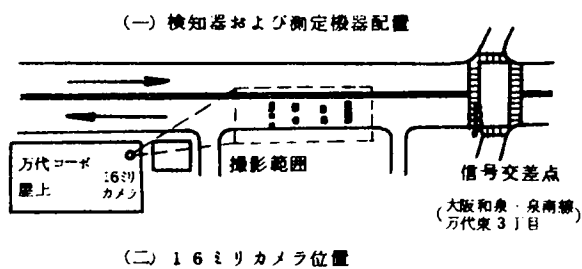
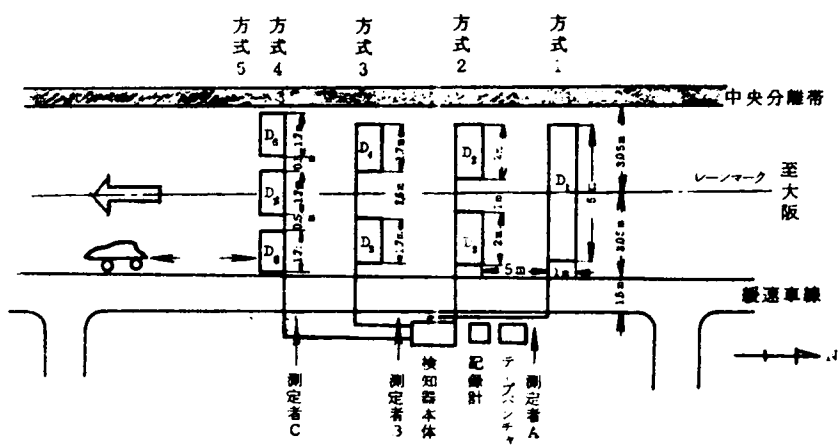


図 3-12 車線配置と精度についての実験の機器配置図

方式 5 ; 方式 4 のロジックに時間差別別要素を付加した前節の方式 C に相当する。

表-3-4

測定条件

期日 S 4 5-1 2-2 4 (晴)

サンプリング 回 数	測 定 時 間	駐車位置 X	備 考
ケース : 1	8:14':55" ~ 8:26':55"	＊ ＊	
2	8:34':53" ~ 8:45':49"	20m	＊ ＊ ＊
3	8:56':39" ~ 9:06':54"	10m	＊ ＊ ＊
4	9:12':18" ~ 9:22':38"	1 m	＊ ＊ ＊ ＊
5	9:38':08" ~ 9:48':47"	＊ ＊	
6	9:57':20" ~ 10:07':39"	1 m	＊ ＊ ＊ ＊
7	12:33':31" ~ 12:44':14"	＊ ＊	タクシー 1 台約 1 分駐車
8	12:48':55" ~ 12:59':20"	1 m	＊ ＊ ＊ ＊ データレコーダ 12:58' 以後 3 0 秒間のデータは操作ミス
9	13:11':21" ~ 13:20':46"	＊ ＊	カメラ撮影なし
10	13:27':21" ~ 13:37':45"	1 m	＊ ＊ ＊ ＊
11	13:40':39" ~ 13:50':06"	＊ ＊	
12	15:09':21" ~ 15:19':57"	＊ ＊	
13	15:30':10" ~ 15:40':46"	＊ ＊	交通量多く、駐車は危険
14	15:57':58" ~ 16:08':09"	＊ ＊	
15	16:21':50" ~ 16:32':39"	＊ ＊	

(注) 駐車位置 X は図-3-12 の D_6 , D_7 , D_8 と駐車している車までの距離を示す。

＊ ＊ : 実験区間およびその前方 1 0 0 m 区間には駐車なし。

＊ ＊ ＊ : 路側に寄せて駐車

＊ ＊ ＊ ＊ : 路側より 0.7 5 m の間隔を置いて駐車。路側に駐車すると緩速車線に駐車することになり、駐車の影響が走行車線まで及ばないと判断されたため。

(b) 実験結果

(i) 通行状態

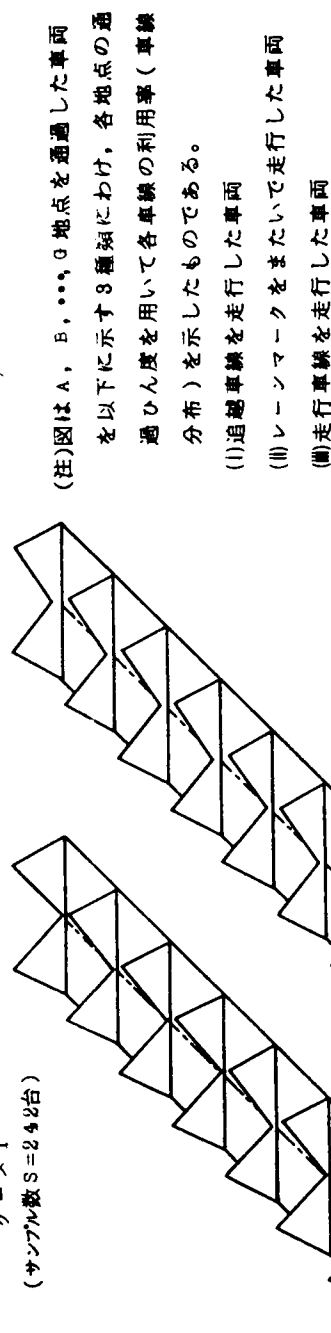
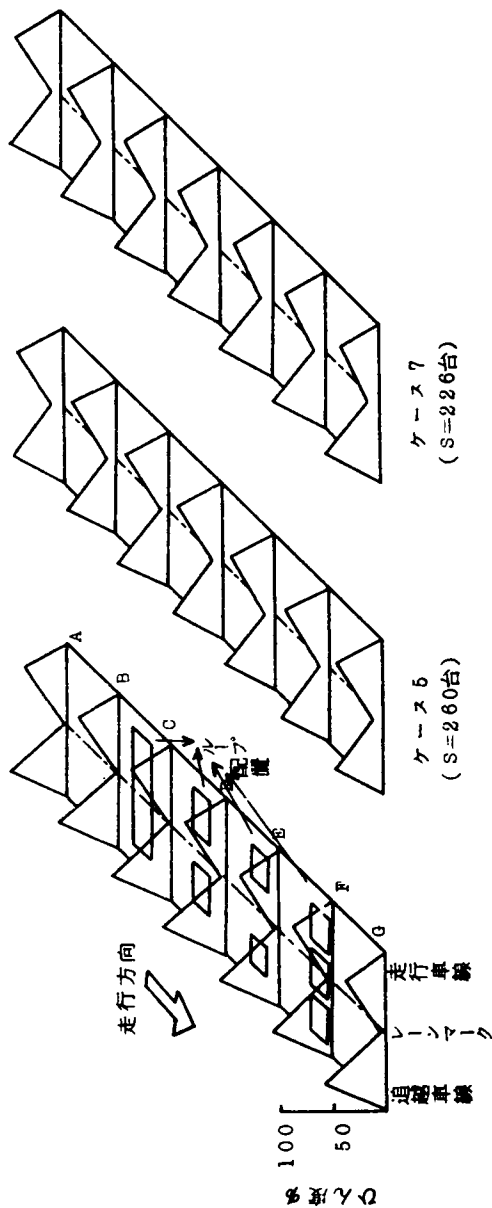
各検知位置での異常通行の発生状況を表-3-5 に、またフィルム解析より得た車線分布の状態を図-3-13 に示す。実験区域での交通量 3 0 0 台 / 1 0 分は容量の約 7 0 % に相当するが、この程

度の交通量では駐車のない場合は異常通行はあまりなく、ほぼ車線は守られている。一般に交通量が多く円滑な交通流では異常通行の率は低く、ケース14においては3%以下、ケース15においては9%以下になっている。駐車のある場合は10%以上の異常通行状態を示し、進路変更は約15m手前より起こり、2～5m手前が最もその影響が大きくなっている。ケース2、3の場合は緩速車線内に駐車させた場合でこの時は追越車線までは影響を及ぼしていないようである。ケース4、6、8および10の場合は極めて顕著にその影響が現われている。

表-3-5 測定台数と各ループ位置での異常通行率

No	台 数				異常通行率(%)				駐 車 の 有 無 と 駐 車 位 置
	総 数	小形車	大形車	大形車混 入率 (%)	方式1	方式2	方式3	方式4	
ケース 1	256	244	12	4.7	4.1	3.7	4.1	4.5	なし
2	228	217	11	4.8	9.3	8.0	7.5	9.8	20m
3	236	226	10	4.2	12.0	12.4	15.0	15.4	10m
4	254	233	21	8.2	17.5	17.9	23.9	33.9	1m
5	267	253	14	5.2	8.8	8.5	9.2	9.6	なし
6	257	235	22	8.6	24.0	26.4	30.9	35.0	1m
7	234	227	7	3.0	10.6	11.1	11.5	10.2	なし
8	250	245	5	2.0	28.2	30.2	34.1	37.3	1m
9	225	220	5	2.2	カメラなし				なし
10	282	275	7	2.4	13.9	14.6	19.6	23.9	1m
11	235	227	8	3.8	時間の都合およびケース14,15より異常通行率が安定していると推定されるためフィルム解析行なわず。				なし
12	283	273	10	3.6					なし
13	275	256	19	6.9					なし
14	297	289	8	2.7	2.6	3.0	3.0	2.6	なし
15	287	267	20	7.0	7.8	7.4	6.8	7.1	なし

＊ ： 各配置位置で通行条件が同じと考えて
支障のないものとする。

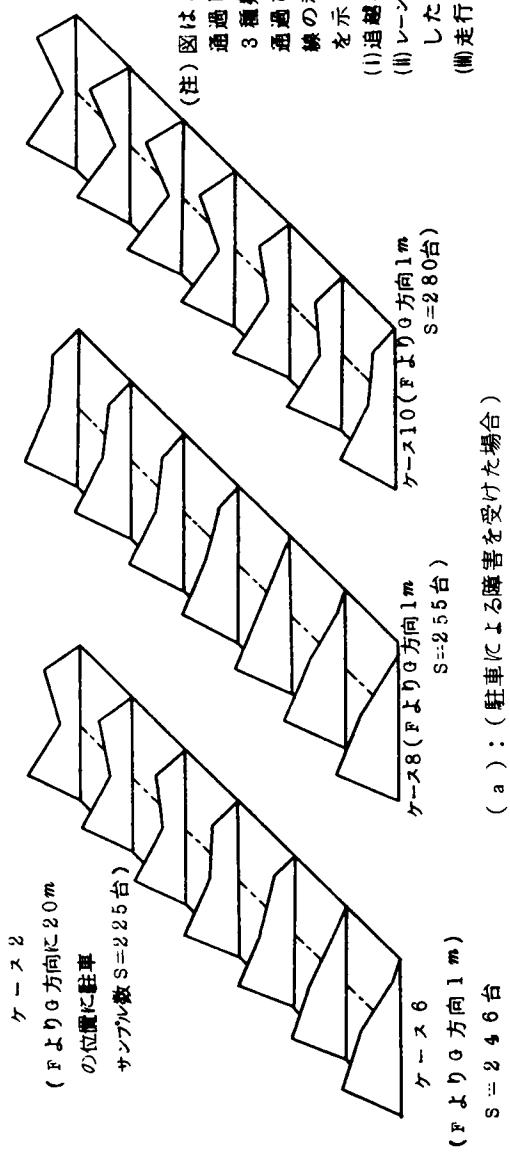
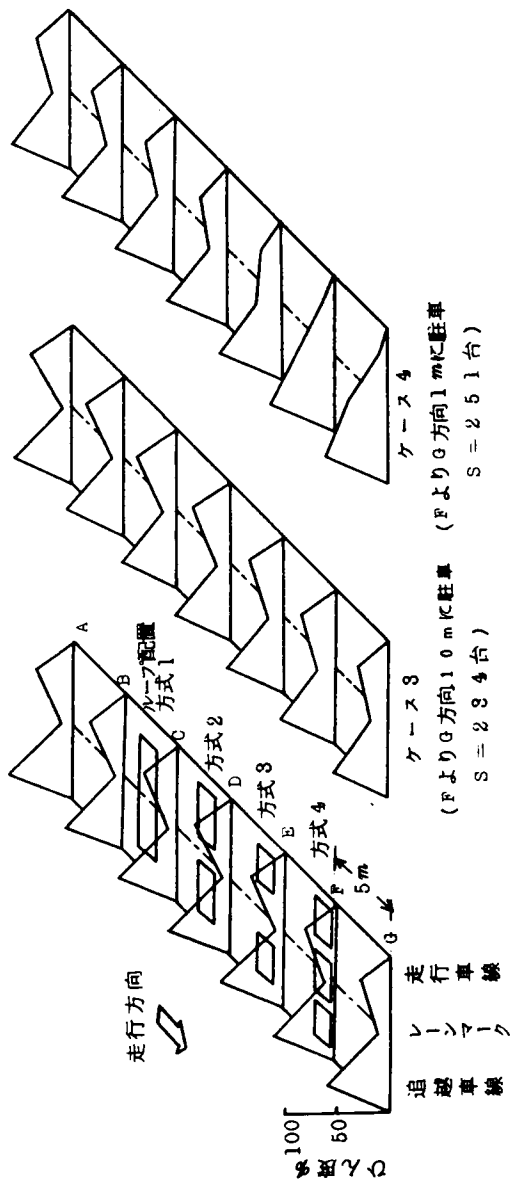


(注)図はA, B, ..., G地点を通過した車両を以下に示す3種類にわけ、各地点の通過ひん度を用いて各車線の利用率(車線分布)を示したものである。

- (I)追越車線を走行した車両
- (II)レーンマークをまたいで走行した車両
- (III)走行車線を走行した車両

(b) : (前方100mに障害物のない場合)

図-3-13 交通の車線分布



(注) 図はA, B, ..., G地点を
通過した車を以下に示す
3種類にわけ、各地点の
通過回数を各車
線の利用率(車線分布)
を示したものである。
(I) 追越車線を走行した車両
(II) レーンマークをまたいで走行
した車両
(III) 走行車線を走行した車両

(a) : (駐車による障害を受けた場合)

図一3-13 交通の車線分布

(ii) 検知精度と車線配置についての結論

検知精度は人間による通過交通量の計測値を基準として各方式の検知精度が求められている。結果を図-3-14～図-3-18に示す。

図-3-14(a)は特に駐車などによる障害をうけない平常時において各車両検知器配置位置での通行状態が同じと見なせる9ケのケースを選択してその検知精度のデータを図示したものである。また図-3-14(b)は駐車の影響があつた5ケのケースにおける各方式の検知精度を示したものである。

図-3-15～図-3-18は方式2～方式5の異常通行率と検知誤差との関係を図示したものである。なお図中破線で示される計算値は検知率Pの期待値を示し、次式で示されるものである。

$$P = 1 + \left\{ \left(\frac{1.3-a}{1.3} \right) Z + \left(\frac{1.7-a}{1.7} \right) (1-y-Z) + \left(\frac{2.5-a}{2.5} \right) y \right\} x \\ + \left\{ \frac{a}{1.3} \cdot Z + \frac{a}{1.7} (1-y-Z) + \frac{a}{2.5} y \right\} \cdot 0.25x \cdot k \quad (3-8)$$

ただし小型車の巾は1.7mとし、

- P ; 検知率
- x ; 異常通行率
- k ; 二重計測される確率
- Z ; 軽自動車(巾1.3m)の混入率
- y ; 大型車(巾2.5m)の混入率
- a ; ループ間隔(ただし軽自動車の車巾の2倍以下)

図-3-14～図-3-18から全般的にはつぎのことがいえるとしている。

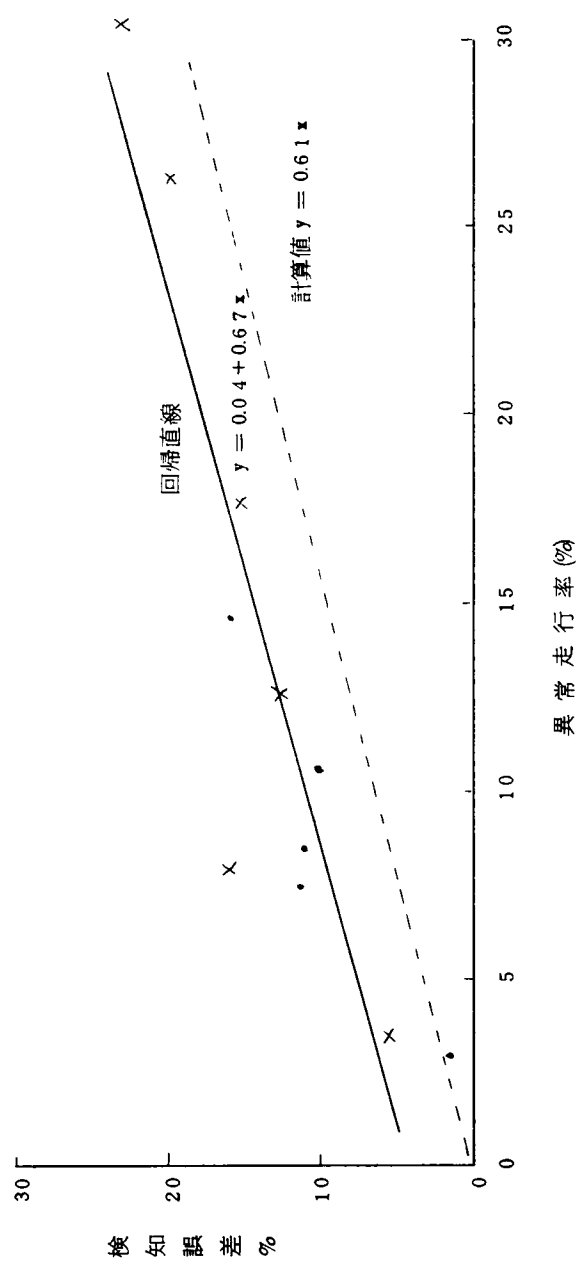
- (イ) 精度的にみて方式3と方式5は図-3-14よりきわめて良好である。
- (ロ) 方式4は方式3、方式5に比べてわずかに劣る。しかも全てマイナス誤差である。これは並進のさいD₆とD₈を両方とも占有するという仮定に当てはまらない車が多いのではないかと考えられる。
- (ハ) 方式1、方式2のそれぞれアンダーカウント、オーバーカウントになるのはループの配置からも明らかである。
- (ニ) 図-3-15から図-3-18までをみると方式5は異常通行に対してもかなり安定した検知精度が期待できる。
また方式別にみて特に優れている方式3および方式5に対しては
- (ヘ) 方式3は駐車のない場合は検知誤差が5%を越える率は11%、検知誤差が10%を越える率

はずかに3%と検知精度がよい。補正を行なうことにより駐車のない平常時であれば±5%、異常通行時においても±8%の検知誤差範囲におさめることが可能であろう。また図-3-16によれば同じ一車線一検知器で検知器間隔が1mと短い方式-2に対応する図-3-15と比べて回帰直線の傾きが $\frac{1}{3}$ 以下になっており、異常通行に対する安定性もきわめて良くなっている。

(ホ) 方式-5は検知精度の点では方式-3とほぼ同様であるが、異常通行に対しては回帰直線の傾きが図-3-16に比べ $\frac{3}{4}$ 以下になっており全方式の中で最も優れている。

とし以上の結果から各方式に対する評価の指標として(1/検知誤差×コスト)を考えると方式3が有利である。ただし異常通行率が20%を超える場合は方式5とする必要があろうとしている。また以上の実験の結果から名神のような地方部高速道路の本線上では表-3-1に示すように異常通行率は数%と低いため上記実験の方式-3に相当する前項の方式Bが適当と考えループを用いる場合は図-3-19(A)に示す配置を、また超音波式車両検知器を設置する場合は図-3-19(B)に示すような設置方式を推奨している。ただし万国博対策として設置された名神高速道路での本線上における超音波式車両検知器の設置方法は費用等の制約のため図-3-20に示すような一車線一ヘッドの斜上式設置方式をとっている。以下次節ではこの名神の設置方式や高速道路調査会交通流監視制御研究班の推奨した設置方式に基づき、地方部高速道路二車線区間における交通量計測精度や最適スキャンニング周期についての理論値を交通量計測過程モデルを用いて求めることにする。

- × 駐車あり
- 駐車なし



(大阪和泉南線サンプリング時間 10分)
(S. 45-12-24測定)

図一三—一五 検知方式2における異常走行率と検知誤差の関係

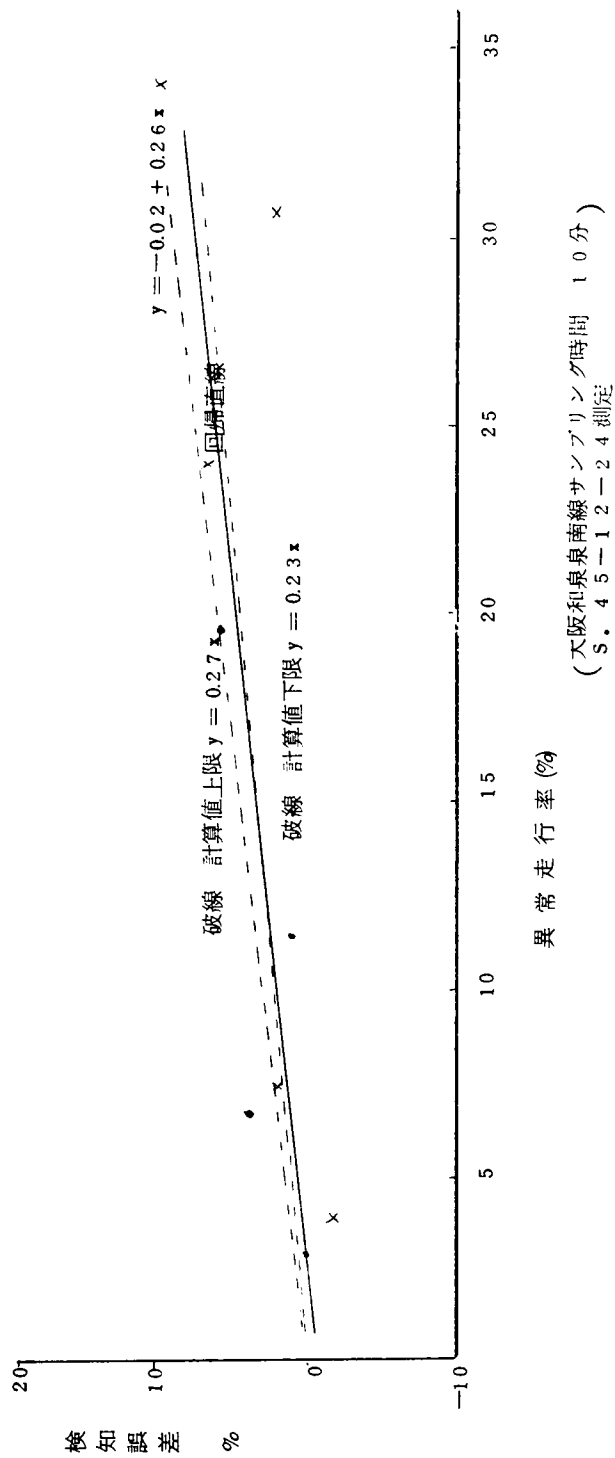
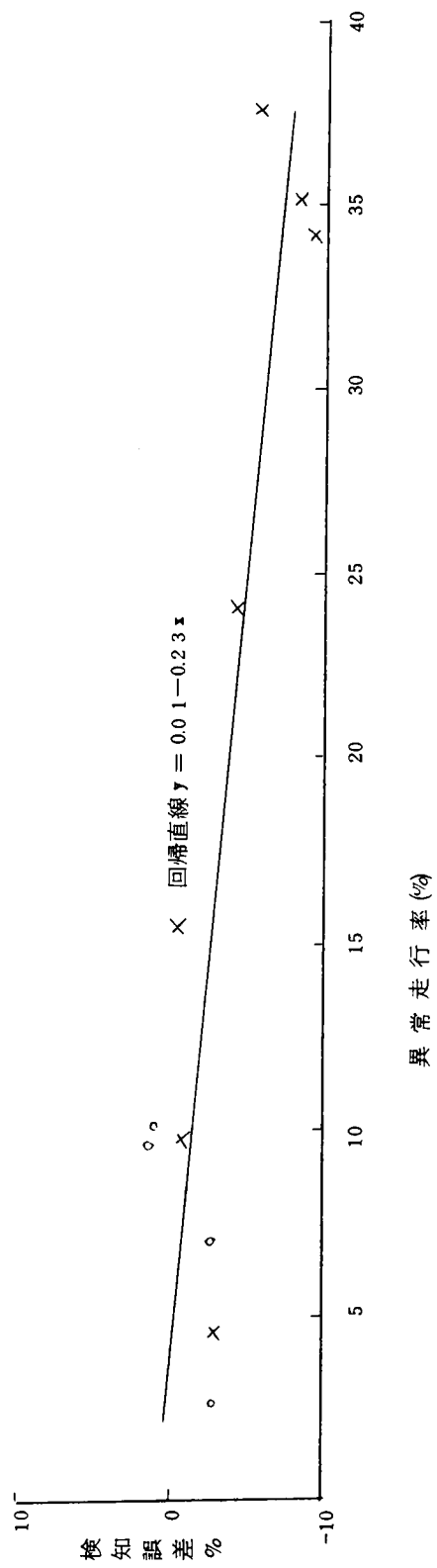


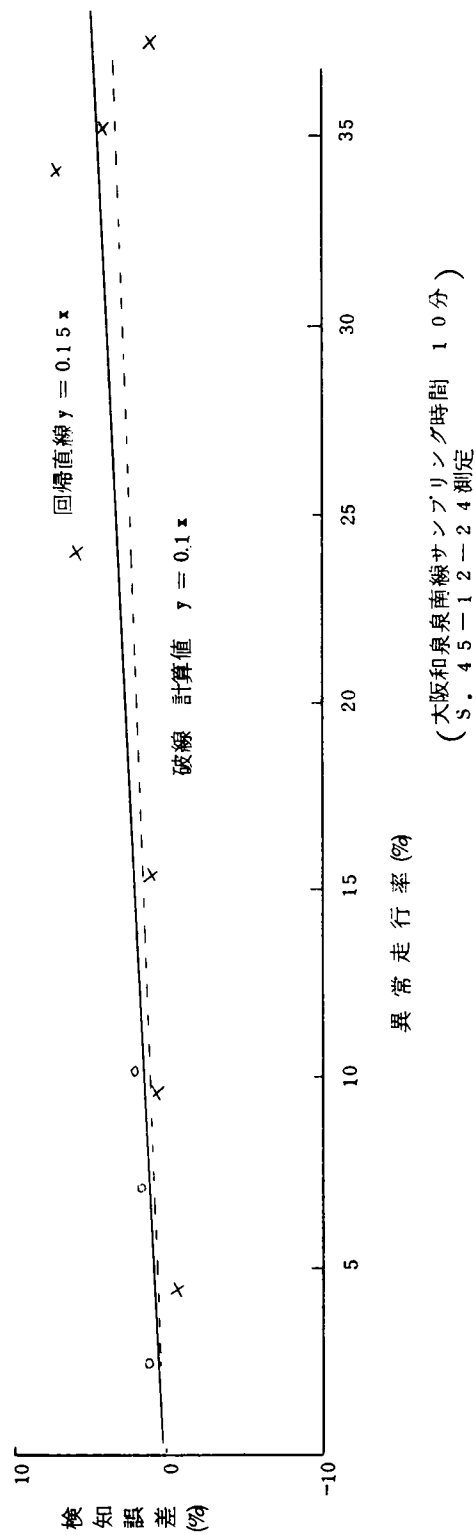
図-3-16 検知方式3における異常走行率と検知誤差の関係



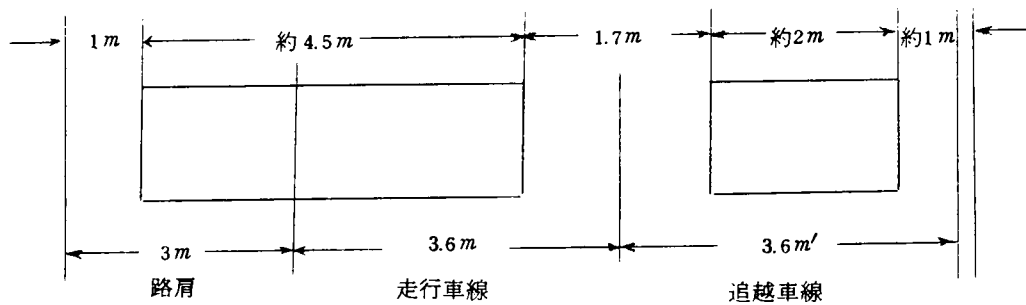
(大阪和泉南線南線サンプリング時間 10分)
(S. 45-12-24測定)

図-3-1-7 検知方式4における異常走行率と検知誤差の関係

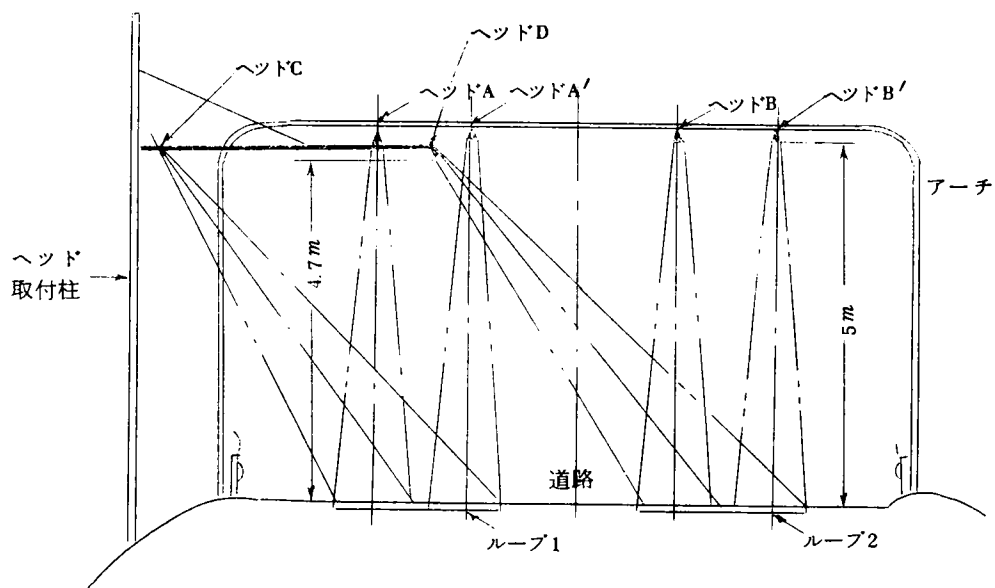
- × 駐車あり
- 駐車なし



図一 3 - 1 8 検知方式 5 における異常走行率と検知誤差の関係

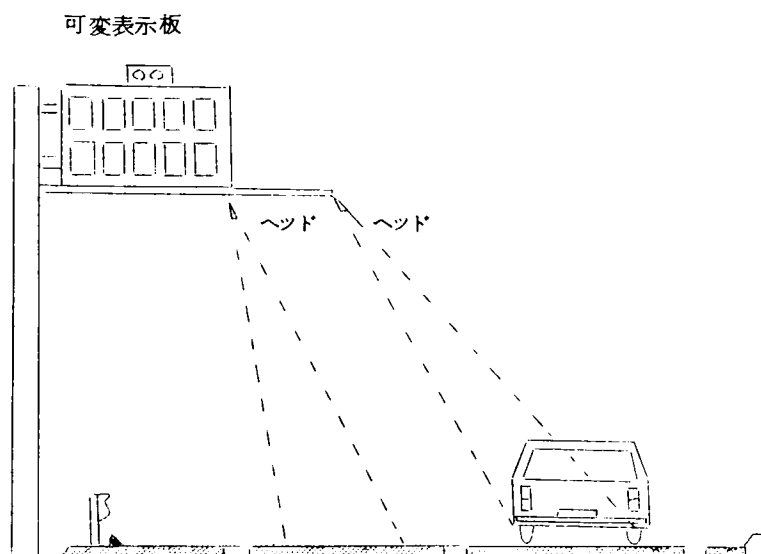


(A) ループ式車両検知器の設置方式



(B) 頭上式および斜上式による超音波式車両検知器の設置方式

図-3-19 地方部高速道路本線における車両検知器の検知子配置
(交通流監視制御研究班推奨方式)



図一 3 - 2 0 名神高速道路吹田管制区域における万博開催時の
超音波式車両検知器の設置方式

3-3 計測過程モデルの多車線交通流への適用

3-3-1 交通発生モデル

前章 2-2-2 において述べたように一車線交通流において、検知器上の車両の占有状況をスキュンニング周期毎にチェックし占有、非占有の状態を 0 1 表示で表現し、さらに連続して発生する 0-1 表示を二つずつ注目してスキュンニング周期のたびに逐次一つずつシフトさせていくことを考えると、二連続 0-1 表示の間にマルコフ性を仮定すれば確率マトリックスは次のように表わすことができる。

$$\begin{array}{c|cccc|c}
 & (00) & (01) & (10) & (11) & \\
 P = \begin{array}{l} (00) \\ (01) \\ (10) \\ (11) \end{array} & \begin{array}{l} 1-P \\ 0 \\ r \\ 0 \end{array} & \begin{array}{l} P \\ 0 \\ 1-r \\ 0 \end{array} & \begin{array}{l} 0 \\ 1-q \\ 0 \\ S \end{array} & \begin{array}{l} 0 \\ q \\ 0 \\ 1-S \end{array} & \begin{array}{l} P(X=00)=a \\ P(X=01)=b \\ P(X=10)=c \\ P(X=11)=d \end{array}
 \end{array} \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

また確率マトリックス中の各推移確率は式 (2-23) から算出される。すなわち

$$\left\{ \begin{array}{l} P = \frac{v}{1-Q-v} \\ q = \frac{Q-v}{v} \cdot S \\ r = 1 \\ (1-S)^{N_t-2} = \frac{v T'}{(Q-v)} \cdot \frac{1}{S} \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (3-10)$$

ここに v ; 想定したスキュンニング周期内に車両が到着している確率

Q ; オキュパンシー

N_t ; 車種判別境界値に最も近い時間に相当するスキュンニング周期数

T' ; 大型車混入率

さらに各 0-1 表示の定常確率は式 (2-21) で示したように

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{車両非占有期間 (00)} \dots\dots\dots & P(X=00)=a=1-Q-v \\ \text{前期遷移期間 (01)} \dots\dots\dots & P(X=01)=b=v \\ \text{後期遷移期間 (10)} \dots\dots\dots & P(X=10)=c=v \end{array} \right.$$

$$\text{車両占有期間 (11) } \dots\dots\dots P = (X = 11) = d = Q - v$$

で求められることが示された。しかしこの交通発生モデルを名神高速道路の吹田交通管制区間で得られたオキュパンシーと交通量の関係を用いて計測過程モデルに適用しても図-2-28に示されるように異常通行車の影響が過大であるため検知精度の理論値がどの程度に確からしいのか確認するに至っていない。第2章で発展させた計測過程モデルの多車交通流への適用を試みるゆえんである。ただしモデルの構成上断面交通量を一まとめにして一挙に適用することは無理でありやはり車線別に交通量や計測精度を論じていく以外に方法はないと考えられる。

ここで交通発生モデルの発端となった二連続0-1表示のマルコフ性の仮定のよってたつところを考えれば50ms～250ms程度の非常に微少な時間間隔で交通流を切ってみるかぎり現在のスキャンニング周期内で車両の占有が認められれば、次のスキャンニング周期でも車両の占有が認められる確率は高いであろうし、またその逆も成り立ち、そう考えることによって相前後する車両間の車間時間も実際の交通流に近いものとなるであろうという仮定である。

そこで多車線交通流、特に地方部高速道路のそれに対する各車線別の交通発生モデルを構成するにあたって次の仮定をおく。

- i) 異常通行車は同時に車線の両側で発生しない。
- ii) 異常通行車と正常に車線を守って走行する車両(以下正常通行車という)との間の車間時間の分布は正常通行車相互のそれと同じである。

上記仮定の i) はこれまで行なわれた種々の観測結果からみて無理のないところであり、またもしかりにそのような状態が発生しようとしてもその発生確率は無視しうるものである。仮定 ii) は、車線をまたいで走る車両がいるかぎり正常に車線の中央部を走行する車両は同時に同じ車線を分かち合うことは不可能であることは明らかであり、異常通行車といえどもそれに前後する正常通行車との間に分合流や車線移行の交通現象の解析等によく見られる Acceptable Gap の分布のような車間時間の分布があるはずであるが、ここではそれを正常通行車の分布と同一であると仮定したものである。これは追縦走行車又は車群における車相互の車間時間も異常通行車と正常通行車の車間時間も車両検知器の上ではほぼ同じ分布とみなすものでそれほど無理のない仮定であろう。このように考えることによって式(3-9)および式(3-10)は次のように書き換えられる。

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccccc}
 (00) & (01) & (10) & (11) & \\
 P_i = \begin{pmatrix} (00) \\ (01) \\ (10) \\ (11) \end{pmatrix} & \begin{vmatrix} 1-P_i & P_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-q_i & q_i \\ r_i & 1-r_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_i & 1-S_i \end{vmatrix} & \begin{pmatrix} P(X=00)=a \\ P(X=01)=b \\ P(X=10)=c \\ P(X=11)=d \end{pmatrix}
 \end{array}
 \end{array}
 \dots\dots\dots (3-11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_i = \frac{v_i}{1 - Q_i - v_i} \\ q_i = \frac{Q_i - v_i}{v_i} \cdot S_i \\ r = 1 \\ (1 - S_i)^{N_{ti} - 2} = \frac{v_i T_i'}{(Q_i - v_i)} \cdot \frac{1}{S_i} \end{array} \right. \dots\dots\dots (3-12)$$

ここに添字 i は車線番号を示し、ここでは路肩側から中央分離帯に向って 1, 2, 3 と番号をつけていくものとする。また v_i については次の式で求めることとする。

$$v_i = (v_0 - u_0) \lambda_i + u_{i-1} + u_{i, i+1} \dots\dots\dots (3-13)$$

ここに

v_0 ; 車道断面を通してスキヤニング周期内に車両が到着している確率で断面交通量に対応するもの

u_0 ; 車道断面を通してスキヤニング周期内に異常通行車が到着している確率

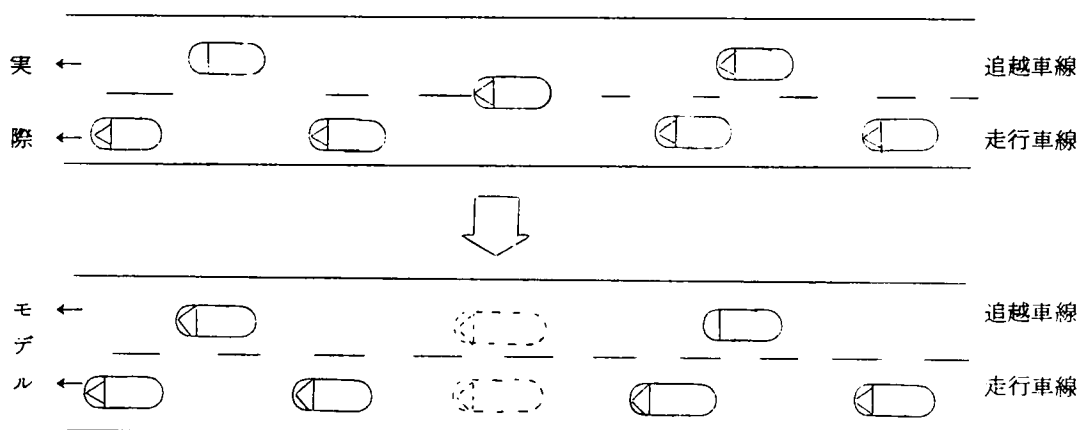
λ_i ; 車線 i における交通の車線利用率

$u_{i-1, i}$; 車線 $i-1$ および車線 i にまたがって走行する異常通行車がスキヤニング周期内に到着している確率、ただし車線数 n の道路において $u_{0, 1} = 0$ および $u_{n-1, n} = 0$ とする。

式 (3-13) の示すところは、両サイドの車線共に関係する異常通行車は考えている車線内を通行する正常通行車として考えて交通発生モデルに組み入れるとするものであり、換言すれば名神のような片側二車線の地方部高速道路においては異常通行車を走行車線と追越車線の双方で二重に計算されることを示している。現実想定される交通の状態と多車線に適用した場合の交通発生モデル上の交通発生状態を図示すれば図-3-21 のようになる。異常通行車のとり方は、式 (3-7) に示すとおり信頼度によって変化することはいうまでもない。

さらに各 0-1 表示の定常確率も次式のように書き換えられることになる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{車両非占有期間 (00)} \dots\dots\dots P_i(X_i=00) = a_i = 1 - Q_i - v_i \\ \text{前期遷移期間 (01)} \dots\dots\dots P_i(X_i=01) = b_i = v_i \\ \text{後期遷移期間 (10)} \dots\dots\dots P_i(X_i=10) = c_i = v_i \\ \text{車両占有期間 (11)} \dots\dots\dots P_i(X_i=11) = d_i = Q_i - v_i \end{array} \right. \dots\dots\dots (3-13)$$



図－３－２１ 交通発生モデルの二車線道路への適用

３－３－２ 計測過程モデル

２章４節で発展させた交通量の計測過程モデルでは、二重マルコフ連鎖が適用できるという仮定のもとで、とにかく何らかの形で車両検知があった場合、その検知器のもつ性能から推定される正または負の計測誤差のみを定めれば、その外の要素は $V-Q$ の関係や大型車混入率等の交通特性から計測誤差や最適スキューニング周期等が算定されるという立場をとってきた。しかし車両検知器の検知精度の実験結果からみて単に一車線交通流に上記のような車両検知器の観念的な存在のみに立脚したモデル構成では現実に設置された車両検知器の計測過程をシミュレートしているとはいえないであろう。このようなモデル構成上の弱点を矯正し計測過程モデルの多車線道路への適用を計るためには検知器の車線配置を明確にして、本節で示した多車線道路の交通発生モデルを受けざるを得ない。

ここで本節で対象とする車両検知器の配置と計測過程のモデル化についての立場を次のように定める。

- i) 車両検知器の車線配置は前節（３－２）で示された高速道路調査会交通流監視制御研究委員会が推奨されている方式－Ｂによるものとする。すなわち検知器の車線配置は一線一検知器とし、隣接する検知器の検知範囲の横断的間隔は小型車の限界幅である 1.7 m 程度を想定する。（図－３－１９参照）ただし検知精度の実験結果の判定にあたっては検知範囲間隔が現実にはどの程度であったかが問題となろう。
- ii) 計測過程モデルの構成は基本的には前章３節の考え方に基づくものとする。ただし異常通行車両に対しては図－３－２１に示されるように交通流としては当該車線を利用しているものとして式（３－１１～１３）のように諸係数が算定されるが、計測過程上は正常な通行車両とは同

一の取り扱いはず、むしろ検知対象外となる程度を問題にするものとする。

i) については名神高速道路、首都および阪神の両都市高速道路の交通管制システムで設置されている車両検知器の圧倒的多数の車両検知が一車線一検知器として設置されていること、および前節で紹介したループ式車両検知器の検知精度実験の結果からみて精度上すぐれておりまたループ間隔（検知範囲間隔）を 1.7 m 程度にとることは現実的にみてさほどの支障もなくできることを考えれば研究対象の車線配置として最も適しているものと考えられよう。

ii) については異常通行車両がレーンマークを跨いで走行している以上、車両検知器がこれ等の異常通行車を正常に検知しえないことは明らかである。ただし異常通行車に対して正常通行車と同様な手法で表-2-5 に示したように計測台数の誤りが発生する過程を考察することは異常通行車両の通過位置の発生頻度と個々の通過位置に対しての検知器のもつ正または負の誤りの発生確率およびそれ等の組合せ等複雑な確率過程を考慮する必要がある。また本章 1 節でとりあげた地方部高速道路一般部の異常通行率がたかだか数%であることを考えればそのような複雑な過程を追跡しても意味がないと考えられるので、ここでは異常通行車に対してはそれらが検知器の検知範囲に入るか入らないかの二つに分け、検知範囲に入ると仮定した異常通行車に対しては表-2-5 に示したような計測誤差の発生確率が正常な通行車と同様に発生し、検知範囲に入らないと仮定した異常通行車については当該車線に設置した車両検知器には検知されず、したがって表-2-6 に示される正および負の計測誤差の発生対象とはならないと考えることにする。いま i 番目の車線に注目し、その車線に関係している異常通行車がこの車線に設置された検知器の検知範囲に入る確率を路側寄りおよび中分寄りの異常通行車に対してそれぞれ $Pu_{ki}(i-1, i)$ および $Pu_{ki}(i, i+1)$ とすれば車線 i に設置された検知器の検知対象交通量は式(3-13)と同じ形式ととつてスキッピング周期内に車両が到着している確率に換算して

$$\begin{aligned} v_i' = & (v_o - u_o) \lambda_i + Pu_{ki}(i-1, i) \cdot u_{i-1, i} + \\ & Pu_{ki}(i, i+1) \cdot u_{i, i+1} + \dots \dots \dots (3-14) \end{aligned}$$

ここに v_i' ; i 番目の車線に設置された検知器の検知対象交通量

添字 k i ; 車両検知器の検知範囲の相互間隔（ループ式車両検知器でいうループ間隔に相当）から定まる標準検知、無検知および二重検知の状態を示す添字

もしこれらの検知対象交通が、車線 i に関係していても検知対象外となった交通に通行上何らかの影響も受けないとすれば v_i' をそのまま式(2-26)～(2-31)に適用して計測誤差の期待値や計測誤差の絶対値の期待値等を求めればよいのであるが、実際上は検知対象外となった異常交通といえども車線を跨いで走行するかぎり車線 i に関係する正常、異常の交通に影響を与えている

はずである。ただ表-2-5に示したような計測誤差の発生過程に乗っていないだけのことと考えるのが妥当である。車線*i*に関係して検知対象交通量となり、したがって計測誤差の発生過程に組み入れられる確率は当然のことながら

$$\xi_{i,ki} = \frac{v_i'}{v_i} \dots\dots\dots (3-15)$$

である。ここで $\xi_{i,ki}$ を検知対象係数とする。

結局のところ車線*i*における車両検知器による総計測台数の期待値 $E(v_i)$ は式(2-26)を参照して

$$E(v_i) = v_i' + 2\alpha \{ (1-S_i)Q_i^2 + Q_i v_i (3S_i - 2) - 2S_i v_i^2 \} \xi_{i,ki} \dots\dots\dots (3-16)$$

したがって車線数*N*の道路において断面交通量(v_o)に対する1スキャンニング周期当りの計測誤差の期待値 $E(R_n)$ は、各車線の車両検知器について正の誤りを犯す確率 α が同じと仮定すれば

$$\begin{aligned} E(R_n) &= \sum_{i=1}^N E(v_i) - v_o \\ &= \sum_{i=1}^N \left[v_i' + 2\alpha \{ (1-S_i)Q_i^2 + Q_i v_i (3S_i - 2) - 2S_i v_i^2 \} \xi_{i,ki} \right] - v_o \end{aligned} \dots\dots\dots (3-17)$$

またスキャンニング周期を $\tau(sec)$ 、計測時間を $T_m(sec)$ とすれば計測時間内における計測誤差台数の期待値(E_n)は式(2-28)を参照して

$$E_n = \frac{T_m}{\tau} E(R_n) \dots\dots\dots (3-18)$$

同様に式(2-30)を参照して誤差率(γ_n)を%標示で示せば

$$\gamma_n = 100 \times \frac{E(R_n)}{v_o} \dots\dots\dots (3-19)$$

なお前章で規定した1スキャンニング周期当りの計測誤差台数の絶対値、計測時間当りの計測誤差台数および誤差率の絶対値に対する期待値をそれぞれ $E(|R_n|)$ 、 $|E_n|$ および $|\gamma_n|$ とすれば、当然これらについては検知対象外となって計測されなかった異常通行車量についても考慮をほらい、なおかつ式(2-27)、(2-29)および(2-31)を参考にして求めると以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} E(|R_n|) &= 2\alpha \sum_{i=1}^N \{ (1-S_i)Q_i^2 + Q_i v_i (S-2) + v_i^2 + 2S_i v_i^2 \} \xi_{i,ki} \\ &\quad + \left| \sum_{i=1}^N v_i' - v_o \right| \dots\dots\dots (3-20) \end{aligned}$$

$$|E_n| = \frac{T_m}{\tau} E(|R_n|) \dots\dots\dots (3-21)$$

$$|r_n| = 100 \times \frac{E(|R_n|)}{V_o} \dots\dots\dots (3-22)$$

最後に異常通行車両に対する検知対象係数 (ξ_{i,k_i}) の添字 k_i について検知範囲の相互間隔と検知状況および k_i のとる値をより明確にする。すなわち式 (3-15) で定めた異常通行車検知係数 (ξ_{i,k_i}) の添字 k_i について検知範囲の相互間隔 (ループ式車両検知器でいうとループ間距離) と検知状況をより明確にすると次のとおりである。

標準検知の状態；検知範囲の相互間隔を小型の巾員に定めているので小型車についてはどちらかの検知器で検知されるが大型車については二重検知される。この場合平均の計測誤差率を考える場合は式 (3-7) から異常通行率は 2.25%、信頼限界を考えるならば 3.5% 程度を考えればよい。この場合の添字 k_i は 0 とする。異常通行車のうち小型車がどちらの車線で検知されるかは、ここでは全体断面交通量に対する精度が問題であるので便宜上車線利用率に従ってその割合でそれぞれ検知されるとしてよいであろう。

無検知の状態；検知範囲の相互間隔が標準の場合と比べて広すぎ小型車はほとんど両サイドの車線にある検知器では検知されない状態をいう。この場合の添字 k_i は (-1) とする。

二重検知の状態；検知範囲の相互間隔が標準の場合と比べて狭すぎるが超音波式車両検知器の場合の投射角等の関係で異常通行車がほとんど両サイドの車両検知器に小型車でもほとんど検知されてしまう状態をいう。この場合の添字 k_i は (+1) とつける。

上記の三つの状態を図示すれば図-3-22 のとおりである。

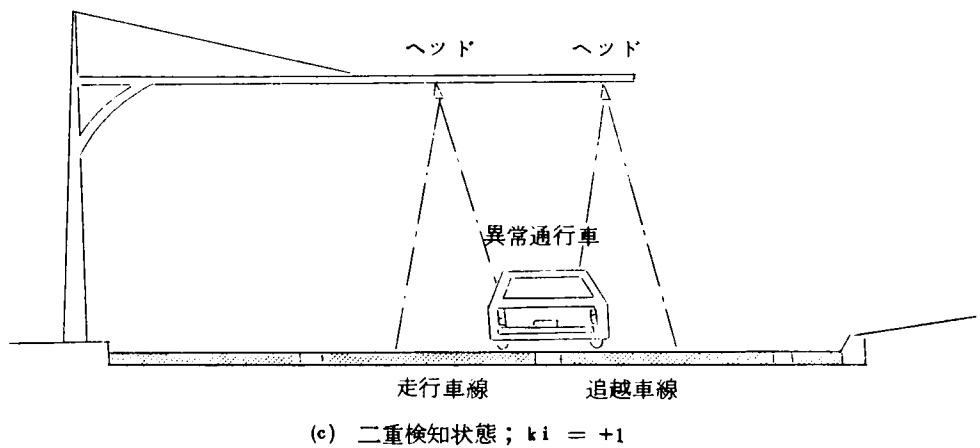
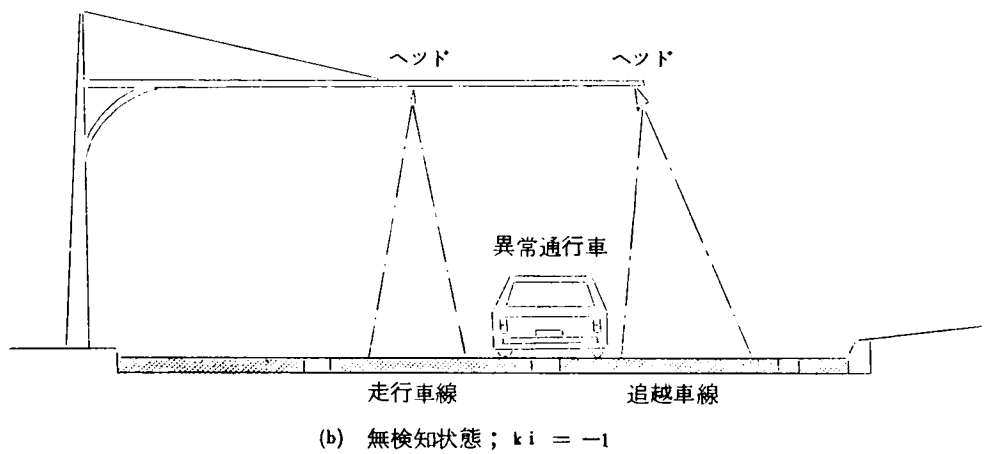
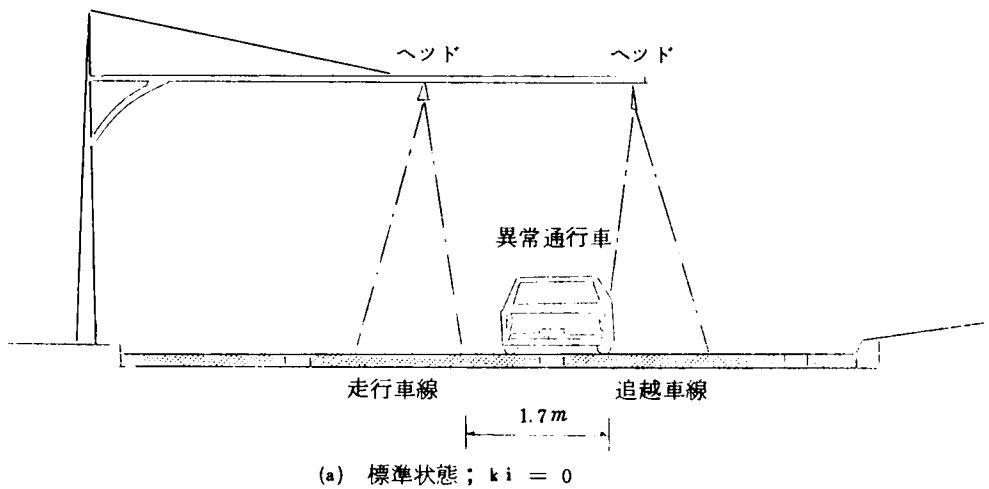


図-2-2-2 検知範囲と検知状態

3-3-3 名神高速道路の精度測定結果との比較

多車線道路に対する計測過程モデルの理論の名神高速道路のような一方二車線の地方部高速道路への適用法を断面交通量1000台/時の場合を例にとりて説明すると次のとおりである。まず断面交通以外の交通条件は下記のとおりである。

$$\left\{ \begin{array}{lll} \text{車線平均オキュパンシー} & Q & = 0.045 \quad (\text{図-2-21参照}) \\ \text{平均大型車混入率} & T & = 20 \% \quad (\text{第二章と同一条件}) \\ \text{追越車線利用率} & \lambda & = 0.47 \quad (\text{図-3-1参照}) \\ \text{小型車平均占有率} & Oc & = 0.214 \beta \text{ sec} \quad (\text{図-2-16参照}) \\ \text{大型車平均占有率} & Ot & = 0.373 \beta \text{ sec} \quad (\text{図-2-16参照}) \end{array} \right.$$

ここで平均占有率に係数 β を乗じているのは式(3-2)の解説で示したように平均占有率から求めた理論上のオキュパンシーと5分間交通量～オキュパンシーの関係から得た経験値からのオキュパンシーとの間の調整を行なうためのものである。以下に異常通行率として平均的異常通行に対応する2.25%を考えた場合について計算例を示す。

i) 車線別オキュパンシーと大型車混入率

異常通行車群の大型車混入率は追越車線のそれと同じと考えてよいから車線別大型車混入率を出すにあたって走行車線走行車群と異常通行および追越車線走行車の群に分けて考えて、異常通行率2.25%に対する λ の調整を行なうと

$$1 - \lambda' = (1 - 0.0225) \cdot (1 - \lambda) = 0.9775 \times (1 - 0.47)$$

$$\text{から } \lambda' = 0.48$$

この λ' は異常通行車両を追越車線にのみ与えた交通発生モデル上での車線交通量に対応するものと考えてよいものである。さて走行車線と追越車線の大型車混入率をそれぞれ T_1 および T_2 とすれば

$$\frac{1}{100} \cdot T_1 = T_1' \quad , \quad \frac{1}{100} \cdot T_2 = T_2' \quad T_1 = 2 T_2$$

の条件を考慮して式(3-2)を適用すれば

$$\begin{aligned} Q_1 &= v(1-\lambda') \{ (1-T_1') Oc + T_1' Ot \} / 3600 \\ &= 1000 \times (1-0.48) \{ (1-T_1') \times 0.214 \beta + T_1' \times 0.373 \beta \} / 3600 \\ &= (0.030911 + 0.022967 T_1') \beta \quad \dots\dots\dots (3-23) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_2 &= v \cdot \lambda' \{ (1 - T_2') \cdot 0.214\beta + T_2' \cdot 0.373\beta \} / 3600 \\
&= 1000 \times 0.48 \times \{ (1 - T_2') \times 0.214\beta + T_2' \times 0.373\beta \} / 3600 \\
&= 1000 \times 0.48 \times \{ (1 - 0.5T_1') \times 0.214\beta + 0.5T_1' \times 0.373\beta \} / 3600 \\
&= (0.028533 + 0.010600 T_1')\beta \dots\dots\dots (3-24)
\end{aligned}$$

$$Q_1 + Q_2 = 2Q = 0.09 \text{ の条件から}$$

$$T_1' = \frac{0.090 - 0.059444\beta}{0.033567\beta}$$

$$T_2' = \frac{0.045 - 0.029722\beta}{0.033567\beta}$$

車線交通量を v_1 および v_2 とすれば

$$v_1 \cdot T_1' + v_2 \cdot T_2' = v \cdot T'$$

の条件から $\beta = 1.317970$ を得て、これから直ちに

$$\text{走行車線の大型車混入率} \quad ; \quad T_1 = 2.63\%$$

$$\text{追越車線のモデル大型車混入率} ; \quad T_2 = 1.32\%$$

を得る。上記の β , T_1 および T の各値を式 (3-23) および (3-24) に代入して

$$\text{走行車線のオキュパンシー} \quad ; \quad Q_1 = 0.048700$$

$$\text{追越車線のモデルオキュパンシー} ; \quad Q_2' = 0.039449$$

が得られる。ただし計測過程モデル上での走行車線のモデルオキュパンシーおよびモデル大型車混入率は異常交通台数を U とすれば、

$$Q_1' = Q_1 + Q_2 \frac{U}{v_2} = 0.051575$$

$$T_1'' = \frac{v_1 T_1' + U T_2'}{v_1 + U} = 0.263 \quad ; \quad 2.63\%$$

として交通発生モデル上の修正を加える必要がある。以上の計算過程に従って断面交通量 1,000 台/時

2,000台/時および2,500台/時に対応した交通条件と車線毎のモデルオキュパンシーおよびモデル大型車混入率等を一覧表にしたものが表-3-6である。

ii) 誤差率および絶対誤差率の計算

實際上最も問題となるのは計測誤差率と絶対誤差率であると考えられるので二車線への適用としてはこの両者の計算を試みた。計算の手法は下記のとおりである。まず車線毎の1時間当りの計測誤差台数は図-2-28を参考にして $\alpha = 0.01$ とすれば

$$A_i = 0.02 \times \frac{3600}{\tau_i} \left\{ (1 - S_i) Q_i^2 + (3S_i - 2) Q_i v_i - 2S_i v_i^2 \right\}$$

$$B_i = 0.02 \times \frac{3600}{\tau_i} \left\{ (1 - S_i) Q_i^2 + v_i^2 + 2S_i v_i^2 + (S - 2) Q_i v_i \right\}$$

($i = 1, 2$)

ただし A_i は誤差台数、 B_i は絶対誤差台数を示す。

(a) 正常状態

検知対象係数は異常通行車のうち小型車は車線利用率に従ってどちらかの検知器で検知され、大型車は二重検知されると考えられるから検知対象交通量(式(3-14)参照)が $V_i + U \lambda'_i (1 + T''_i)$ であるから、 $\lambda'_1 = (1 - \lambda')$ 、 $\lambda'_2 = \lambda'$ とすれば、

$$\xi_{i,0} = \frac{V_i + U \lambda'_i (1 + T''_i)}{V_i + U} \quad (i = 1, 2)$$

従って誤差率の期待値は

$$\tau_2 = \frac{\sum_{i=1}^2 \{ V_i + U \lambda'_i (1 + T''_i) + A_i \xi_{i,0} \} - V}{V}$$

絶対誤差率の期待値は、検知対象交通量の和が断面交通量よりも大であるから式(3-20)および(3-22)を参照して

$$|\tau_2| = \frac{\sum_{i=1}^2 \{ V_i + U \lambda'_i (1 + T''_i) + B_i \xi_{i,0} \} - V}{V}$$

で求めることができる。

(b) 無検知状態

検知対象交通量は各車線とも V_i であるので

$$\xi_{i,-1} = \frac{V_i}{V_i + U} \quad (i = 1, 2)$$

表－３－６ 計測過程モデル初期条件一覧表

計算ケース 項 目	断面交通量 1000台/時 平均異常通行率	断面交通量 1000台/時 信頼度95%の 異常通行率	断面交通量 2000台/時 平均異常通行率	断面交通量 2000台/時 信頼度95%の 異常通行率
<u>前提条件</u>				
断面交通量(台/時)	1,000	1,000	2,000	2,000
車線平均オキュパンシー	4.5%	4.5%	9.0%	9.0%
平均大型車混入率	20%	20%	20%	20%
<u>異常通行車等の条件</u>				
追越車線利用率	0.47	0.47	0.60	0.60
異常通行台数(台/時)	23	35	45	70
<u>車線分配値</u>				
<u>走行車線</u>				
車線正常交通量(台/時)	518	510	782	772
モデル車線交通量(台/時)	541	545	827	1158
モデル車線オキュパンシー	5.1575%	5.0708%	7.7912%	7.9975%
モデル車線大型車混入率	26.3%	25.7%	28.0%	27.6%
<u>追越車線</u>				
車線正常交通量(台/時)	459	455	1173	1158
モデル車線交通量(台/時)	482	490	1218	1228
モデル車線オキュパンシー	3.9449%	4.0929%	10.0705%	10.0705%
モデル車線大型車混入率	13.2%	13.3%	14.4%	14.4%

$$r_2 = \frac{\sum_{i=1}^2 (V_i + A_i \xi_{i-1}) - V}{V}$$

$\sum_{i=1}^2 V_i < V$ であるので式(3-20)および(3-22)を参照して

$$|r_2| = \frac{\sum_{i=1}^2 (-V_i + B_i \xi_{i-1}) + V}{V} = \frac{\sum_{i=1}^2 B_i \xi_{i-1} + U}{V}$$

(c) 二重検知状態

$$\xi_{i+1} = 1$$

$$r_2 = \frac{\sum_{i=1}^2 (V_i + U + A_i) - V}{V}$$

$$|r_2| = \frac{\sum_{i=1}^2 (V_i + U + B_i) - V}{V} = \frac{\sum_{i=1}^2 B_i + U}{V}$$

表-3-7に計算実施例を同じく断面交通量 1000台/時、異常通行車23台の場合について示す。

上記の計算例の外に断面交通量 1000台/時に対して異常通行台数を信頼度95%に対応する45台にとった場合および断面交通量 2000台/時の時の平均異常交通量と信頼度95%の異常交通量を想定した交通量計測誤差率および絶対誤差率の計算を行なった。結果を図-3-23(A)および(B)に示す。図において表題に“片側二車線の地方部高速道路における”と付したのは、交通量とオキュパンシーの関係、車線利用率および大型車混入率等交通条件に関する基礎資料は全て地方部高速道路で唯一の本格的交通管制が実施されている名神高速道路の西宮～栗東間のものを用いたからである。

表-3-7 (1)

計測過程

計測誤差台数計算表 № 1

条件 断面交通量 1,000台/時

大型

項 目	走 行 車 線			
車線正常交通量 ; V_i	$(1000 - 23) \times 0.53 = 518$			
モデル車線交通量 ; $V_i + U$	$518 + 23 = 541$			
モデル車線オキュパンシー ; Q_i	0.051575			
モデル車線大型車混入率 ; T_i''	0.257			
スキャンニング周期 ; τ_i	50ms	100ms	150ms	200ms
$v_i = (V_i + U) \frac{\tau_i}{3600 \times 1000}$	0.007513	0.015028	0.022542	0.030056
$Q_i - v_i$	0.044062	0.036547	0.029033	0.021519
$v_i T_i'$	0.001930	0.003862	0.005793	0.007724
$v_i T_i' / (Q_i - v_i)$	0.043802	0.105672	0.199532	0.358939
N_{t_i}	7	4	3	2
S_i	0.059580	0.144260	0.275349	0.358939
$1 - S_i$	0.940420	0.855740	0.724651	0.641061
Q_i^2	0.002660	0.002660	0.002660	0.002660
$(1 - S_i) Q_i^2$	0.002502	0.002276	0.001923	0.001705
$Q_i v_i$	0.000387	0.000775	0.001162	0.001550
$3S_i$	0.178740	0.432780	0.826047	1.076817
$3S_i - 2$	-1.821260	-1.567220	-1.173953	-0.923183
$(3S_i - 2) Q_i v_i$	-0.000704	-0.001214	-0.001364	-0.001431
v_i^2	0.000056	0.000226	0.000508	0.000903
$2S_i v_i^2$	0.000007	0.000065	0.000280	0.000648
$S_i - 2$	-1.940420	-1.855740	-1.724651	-1.641061
$(S_i - 2) \cdot Q_i v_i$	-0.000751	-0.001438	-0.002004	-0.002543

モデルの計算例

車混入率 20%

追越車線利用率 (図-3-1 より) $\lambda = 0.47$

異常通行台数 23 台/時

追越車線					
$(1000 - 23) \times 0.47 = 459$					
$459 + 23 = 482$					
0.039449					
0.132					
250ms	50ms	100ms	150ms	200ms	250ms
0.037569	0.006694	0.013389	0.020083	0.026778	0.033472
0.014006	0.032755	0.026060	0.019366	0.012671	0.005977
0.009655	0.000884	0.001767	0.002650	0.003534	0.004418
0.689347	0.026988	0.067805	0.136838	0.278905	0.739167
2	7	4	3	2	2
0.689347	0.032280	0.080150	0.163605	0.278905	0.739167
0.310653	0.967720	0.919850	0.836395	0.721095	0.260833
0.002660	0.001556	0.001556	0.001556	0.001556	0.001556
0.000826	0.001506	0.001431	0.001301	0.001122	0.000406
0.001937	0.000264	0.000528	0.000792	0.001056	0.001320
2.068041	0.096840	0.240450	0.490815	0.836715	2.217501
0.068041	-1.903160	-1.759550	-1.509185	-1.163285	0.217501
0.000132	-0.000502	-0.000929	-0.001195	-0.001228	0.000088
0.001411	0.000045	0.000179	0.000403	0.000717	0.001120
0.001945	0.000003	0.000029	0.000132	0.000400	0.001655
-1.310653	1.967720	-1.919850	-1.836395	-1.721095	-1.260833
-0.002538	0.000519	-0.001014	-0.001454	-0.001817	-0.001664

表-3-7 (2)

スキューニング周期	50ms	100ms	150ms	200ms
$a_i = (1 - S_i) Q_i^2 + (3S_i - 2) \cdot Q_i v_i - 2S_i v_i^2$	0.001791	0.000997	0.000279	0.000374
$b_i = (1 - S_i) Q_i^2 + v_i^2 + 2S_i v_i^2 + (S_i - 2) Q_i v_i$	0.001814	0.001129	0.000707	0.000713
$A_i = 0.02 \cdot a_i \cdot \frac{3600}{\tau_i}$	2.58	0.72	0.13	- 0.13
$B_i = 0.02 \cdot b_i \cdot \frac{3600}{\tau_i}$	2.61	0.81	0.34	0.26
(a) 正常状態	$\left[\xi_{10} = \frac{518 + 23 \times 0.53 \times 1.132}{541} = \frac{531.80}{541} = 0.982994 \right]$			
$A_i \xi_{10}$	2.54	0.71	0.13	- 0.13
$B_i \xi_{10}$	2.57	0.80	0.33	0.26
$E(v_i') = v_i + U \lambda_i (1 + T_i'') + A_i \xi_{10}$	534.34	532.51	531.93	531.67
$E(v_i') = v_i + U \lambda_i (1 + T_i'') + B_i \xi_{10}$	534.37	532.60	532.13	532.06
$\Sigma E(v_i')$	1007.00	1004.09	1003.17	1002.74
$\Sigma E(v_i')$	1007.07	1004.29	1003.56	1003.46
誤差率 (%)	0.700	0.409	0.317	0.274
絶対誤差率 (%)	0.707	0.429	0.356	0.346
(b) 無検知状態	$\left[\xi_{1,-1} = \frac{518}{541} = 0.957486 \right]$			
$A_i \xi_{1,-1}$	2.47	0.69	0.12	- 0.12
$B_i \xi_{1,-1}$	2.50	0.78	0.33	0.25
$E(v_i') = v_i + A_i \xi_{1,-1}$	520.47	518.69	518.12	517.88
$\Sigma E(v_i')$	980.84	978.02	977.11	976.74
$\Sigma (R) = \Sigma B_i \xi_{1,-1} + U$	26.91	24.21	23.50	23.42
誤差率 (%)	- 1.916	- 2.198	- 2.289	- 2.326
絶対誤差率 (%)	2.688	2.421	2.350	2.342

250ms	50ms	100ms	150ms	200ms	250ms
- 0.001527	0.001001	0.000473	- 0.000026	- 0.000412	- 0.001161
0.001644	0.001029	0.000625	0.000382	0.000506	- 0.001517
- 0.44	1.44	0.34	- 0.01	- 0.15	- 0.33
0.47	1.48	0.45	0.18	0.18	0.44
$\left[\xi_{20} = \frac{459 + 23 \times 0.47 \times 1.133}{482} = \frac{471.25}{482} = 0.977697 \right]$					
- 0.43	1.41	0.33	- 0.01	- 0.18	- 0.32
0.46	1.45	0.44	0.18	0.15	0.43
531.39	472.66	471.58	471.24	471.07	470.93
532.26	472.70	471.69	471.43	471.40	471.68
1002.32					
1003.94					
0.232					
0.394					
$\left[\xi_{2-1} = \frac{459}{482} = 0.952282 \right]$					
- 0.42	1.37	0.33	- 0.01	- 0.14	- 0.31
0.45	1.41	0.43	0.17	0.17	- 0.42
517.60	460.37	459.33	458.99	458.86	458.69
976.29					
23.87					
- 2371					
2387					

表-3-7 (3)

スキミング周期	50ms	100ms	150ms	200ms
(c) <u>二重検知状態</u>	$\xi_{v-H} = 1$			
$E(v_i') = v_i + U + A_i$	54358	54172	54113	54087
$\Sigma E(v_i')$	102702	102406	102312	102272
$\Sigma (R) = \Sigma B_i + U$	2709	2426	2352	2344
<u>誤差率 (%)</u>	2702	2505	2312	2272
<u>絶対誤差率 (%)</u>	2709	2426	2352	2344
$r_{2'}$	402	106	012	- 028
$ r_{2'} $	409	126	052	044

250ms	50ms	100ms	150ms	200ms	250ms
	$\xi_{2,1} = 1$				
540.56	483.44	482.34	481.99	481.85	481.67
1022.23					
239.1					
222.3					
239.1					
- 0.77					
0.91					

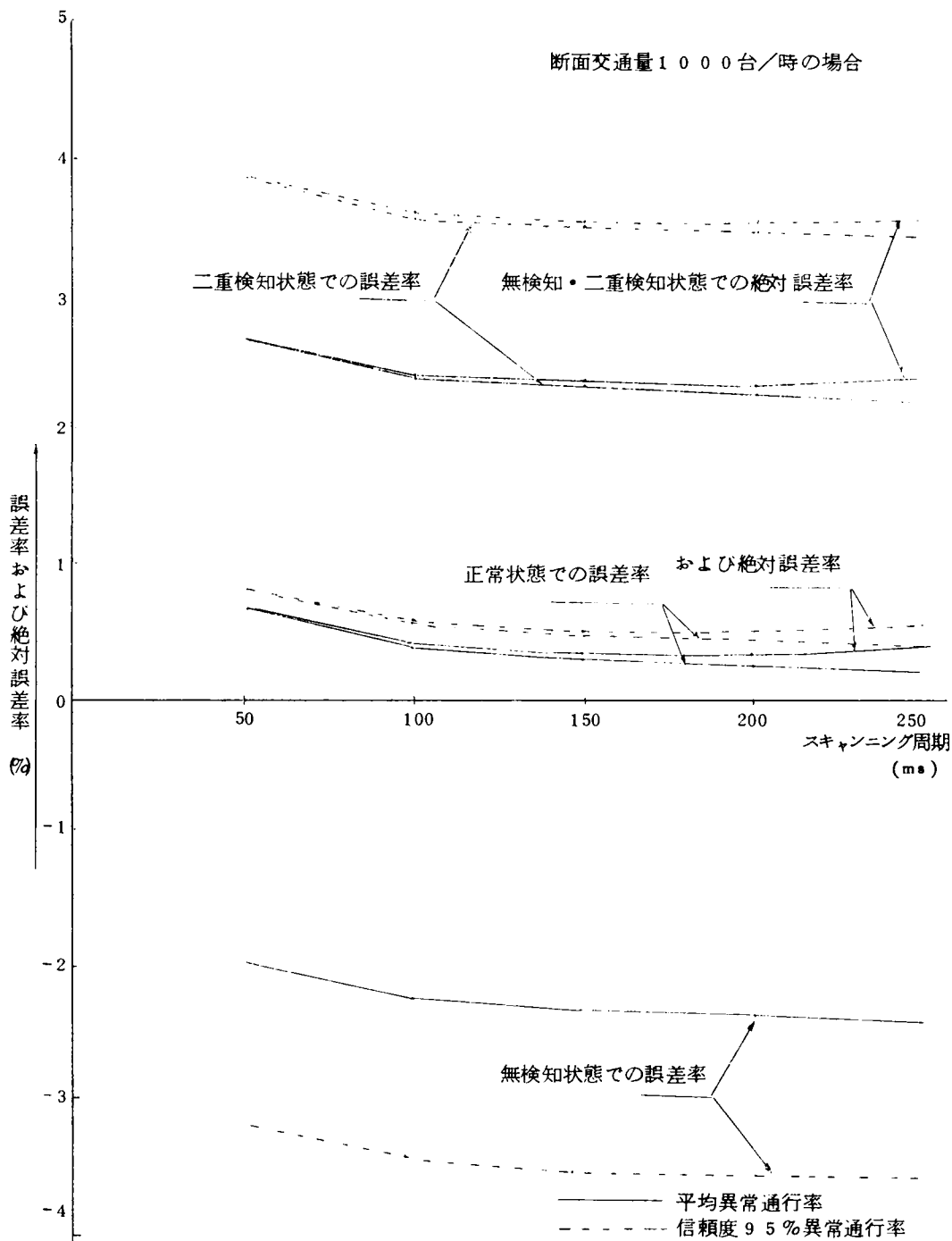


図-3-2-3(A) 片側二車線の地方部高速道路におけるスキャンニング周期と
交通量計測の誤差率および絶対誤差率との関係

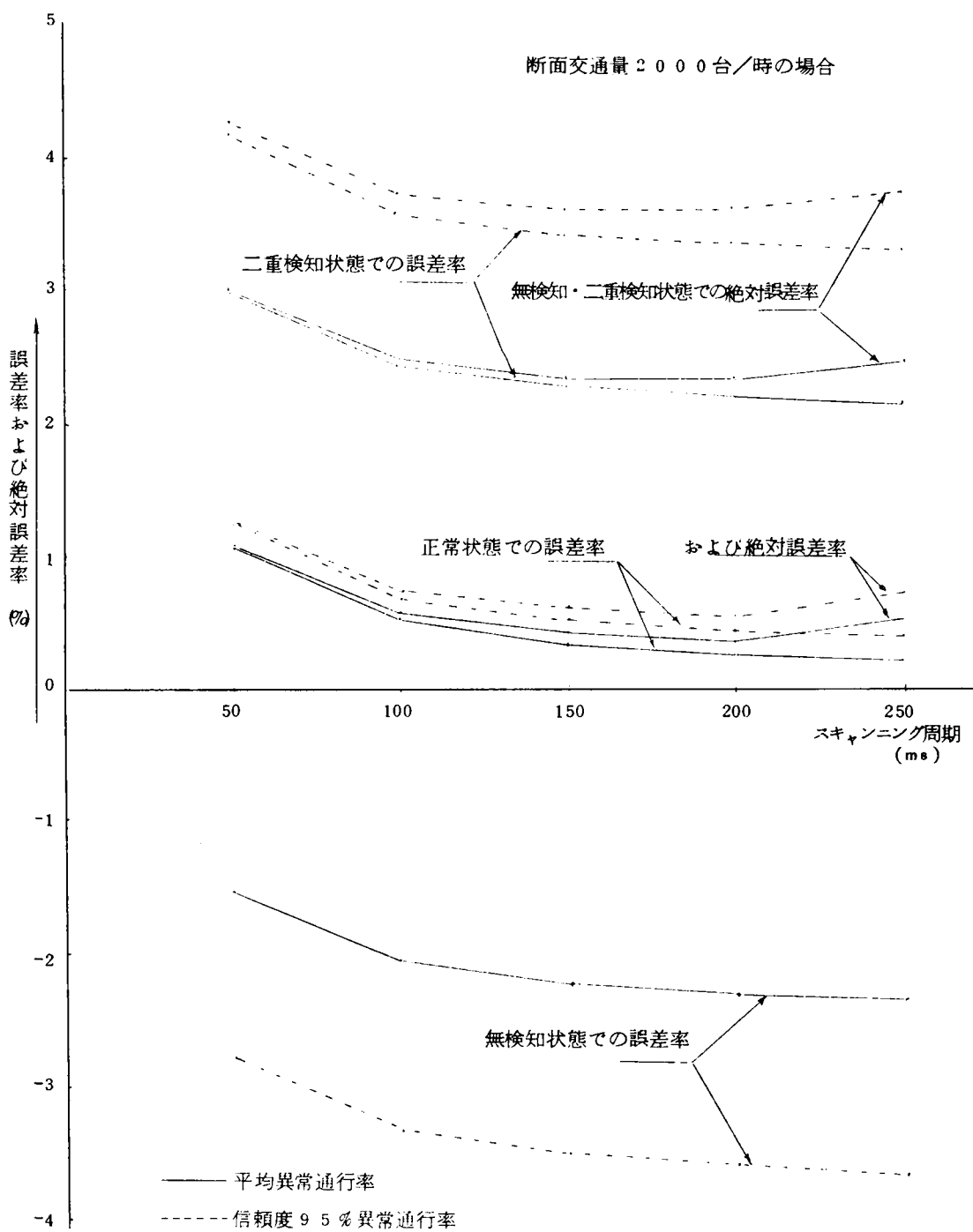


図-3-23(B) 片側二車線の地方部高速道路におけるスキヤニング周期と
交通量計測の誤差率および絶対誤差率との関係

iii) 計算結果の評価

(a) 正常状態の検知について

まず正常に車両検知器が設置されている場合においては平均異常通行についてみると異常通行による見かけ上の検知ミス——この場合は異常通行車両のうち大型車が二重検知されるという検知ミス——を考慮しても誤差率はたかだか1%前後である。一車線交通に対する計測過程モデルの計算結果と同様にやはり計測の誤差率および絶対誤差率は交通量が増加するにつれて増加する。特に短いスキューニング周期の場合その傾向がある。すなわち誤差率の最大値はスキューニング周期50mで、最小値は250mで発生しているが最大値は断面交通量1000台/時に対して0.7%、2000台/時に対して1.1%、となり最小値はいずれも0.2%程度である。いずれにせよ誤差率としては小さいものと考えられるが、一車線交通流に適用した例(図-2-23(A)~(B)参照)のように誤差率が0を示すスキューニング周期は図からみて250m以上の長いものになると推察されるが、これでは図-2-14に示されるように高速道路上での最小車間時間よりも大きいスキューニング周期となり、計測上の負の誤りを犯す可能性が大となる。しかも250m以上という長いスキューニング周期では絶対誤差率も急激に増加していくのでかりに誤差率が0となるスキューニング周期を求め得たとしても非常に不安定な状態のもとで結果として、誤差率“0”をねらうということになり好ましくない。結論的には車両検知器そのものの計測過程上では“見かけ上の検知ミス”ともいふべき異常通行による計測誤差の占める割合が大きいだけにスキューニング周期の調整だけで全体の誤差率を0にすることには無理があり、異常通行が無視できない多車線道路における最適スキューニング周期は一車線交通流の場合と異なり、断面交通量を対象にする場合には計測過程の安定性を評価する意味で絶対誤差率が最小となるスキューニング周期を最適スキューニングとするか、あるいは検知対象交通量に対する誤差率を0とするスキューニング周期を最適とすることが妥当と考えられる。図-3-24に正常検知状態における検知対象交通量に対する誤差率および絶対誤差率を示す。これらの値は表-3-7の計算例で

$$r_2' = \frac{\sum_{i=1}^2 A_i \xi_{i0}}{V}$$

および

$$|r_2'| = \frac{\sum_{i=1}^2 B_i \xi_{i0}}{V}$$

で求められるもので図-3-24では正常検知状態における ξ_{i0} を用いたものである。結論としては

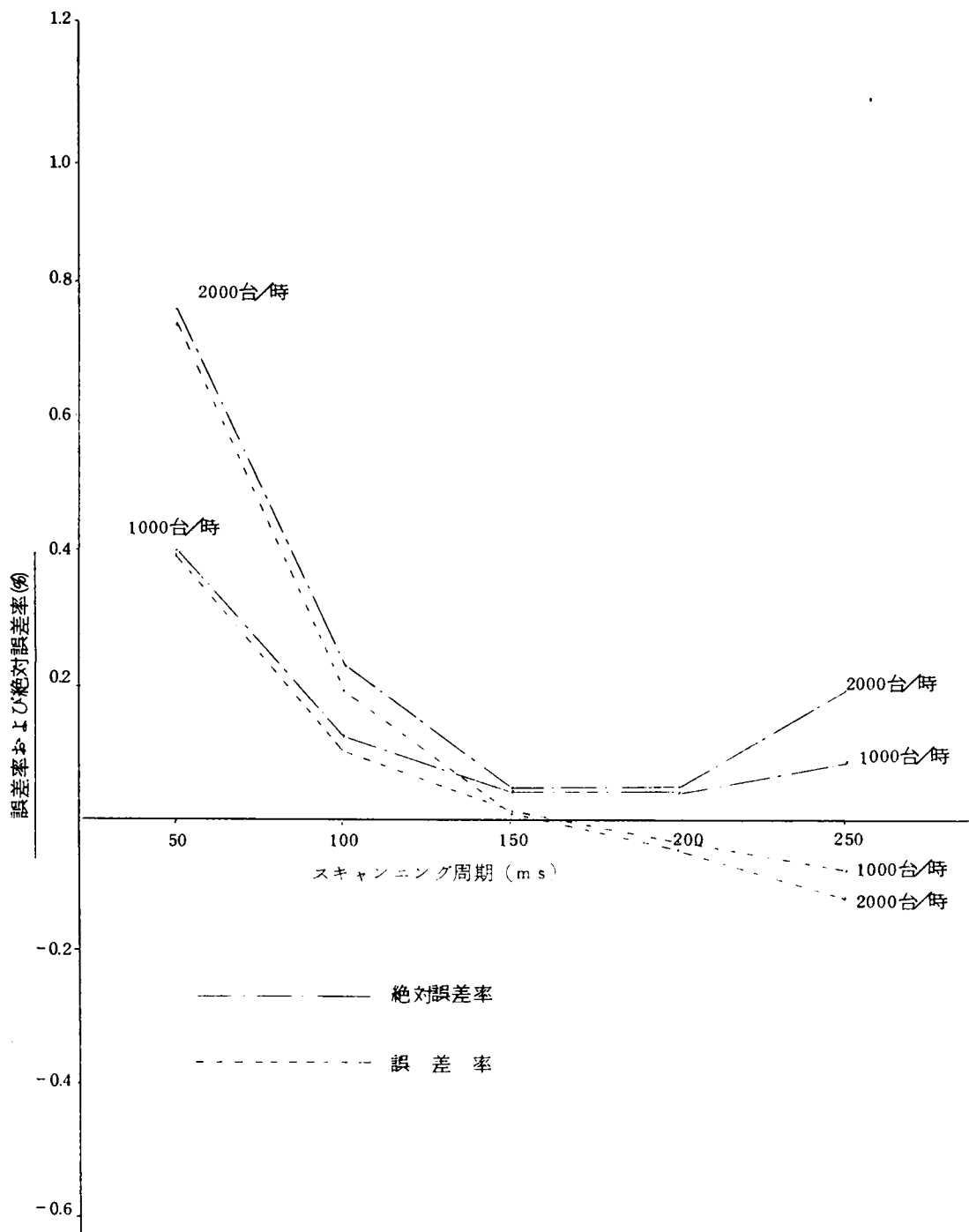


図-3-2-4 検知対象交通量に対するスキャンニング周期と
交通量計測の誤差率および絶対誤差率

明らかなように断面交通量に対する最小絶対誤差率および検知対象交通量に対する零誤差率に対応するスキューニング周期は一車線交通流の場合と同様に150m・前後といえることができる。なお異常通行に起因する見かけ上の誤差についてあえて言及すれば、本計算の結果はあくまでも大型車が二重検知され、小型車はどちらかの検知器でのみ検知されるという仮定に基づいた誤差にすぎず、実際上は軽車両等車巾が1.7m～1.8mよりも少ない車両が高速道路を利用している以上、見かけ上の検知ミスは車両検知器の設置が適正であれば実際の値はより少ないものになると期待できよう。ただしこれらの要素を考慮して理論値の計算を行なうには、車両検知器と異常通行車両の横断的相対位置関係および車種についてのより詳細な実測資料を必要とする。今後のこの方面での調査研究を期待するところである。

異常交通率を信頼度95%の限度まで安全をみて増加させた場合も上記と同様の傾向がみられるが誤差率および絶対誤差率ともに平均異常交通量に比べて0.15%から0.2%程度誤差率が高くなっている。誤差率、絶対誤差率の最大値はやはり50m・の点で発生しており、断面交通量1000台/時に対していずれも0.85%、断面交通量2000台/時に対しては1.25%程度である。

(b) 無検知状態および二重検知状態について

図-3-23(A)および(B)に示される無検知状態および二重検知状態は異常通行車両が全然検知されないか、または全て走行、追越の両車線にある両検知器に計測されてしまうかの両極端の状態を示したもので平均的異常交通率および信頼度95%異常交通率における実際上の計測誤差の限界を示すものと考えられる。特に信頼度95%異常交通率に対する両状態の誤差率の曲線は各スキューニング周期に対する事実上の計測誤差の限界を示す。すなわち二重検知状態が上限の、無検知状態が下限の限界を与えると考えられる。これは、計算上は車両の巾員を小型と大型車に分けてはいるが固定化し、両検知器の検知範囲がレーンマークを狭んで広く離れているか、それとも近寄っているかによって無検知状態と二重検知状態とに分類して考えてきたが、両状態の区別は検知範囲間隔と異常走行車両巾の相対的關係によって分類されるべきもので検知範囲の間隔が固定されていても異常走行車の巾員と走行位置によっては、無検知または二重検知の状態が発生しうると考えられるからである。ただしこの考え方はあくまでも個々の異常通行車、または短時間における計測に対して言えることであって長時間の計測結果についてはやはり検知範囲間隔の大きさが重要な要素となろう。

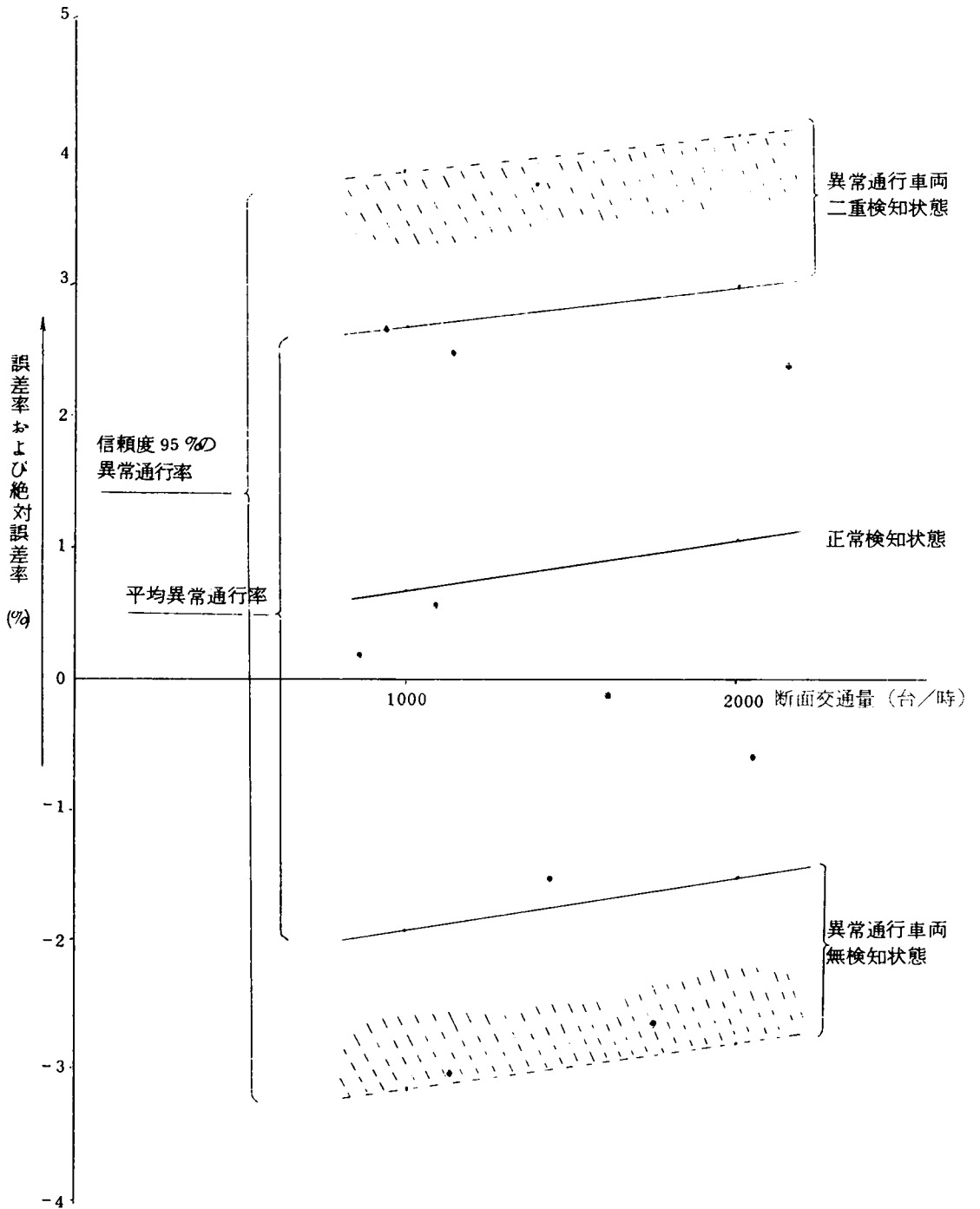
さて誤差率の値は平均異常交通率に対して、二重検知状態で3%から2.1%と、また無検知状態では-1.5%から-2.4%とスキューニング周期が増加するにつれて減少している。プラスとマイナスの誤差がほぼ等しくなるスキューニング周期は当然検知対象交通量に対する計測過程上の誤差率が0となる150m・となり誤差率の範囲は±2.25%と異常通行率に等しくなっているのは、これまた当然の結果であるが、プラス・マイナスの誤差率が等しい点および絶対誤差率も少ないことからみて

150m前後を最適スキューニングと考えるても妥当であろう。

また計測過程上の誤差率が最大となる50mにおいて、その値がたかだか0.4から0.8%であることから考えて、誤差のうちで異常通行に起因するものの割合がいかに大きいかはわかる。

信頼限界95%に対する異常通行率に対する誤差率および絶対誤差率の傾向は無検知状態および二重検知状態ともに上記の平均異常通行率の各値と同様のものを示している。ただし異常交通量が多くなっているだけプラスおよびマイナスの誤差率の範囲も大きくなり、二重検知状態で4.1%から32.5%、無検知状態で-2.75%から-3.75%と大きくなってきている。

上記の理論計算の結果と実測値との比較であるが、実測値としては図-2-28と同様に名神高速道路西宮栗東間の実測値(表-2-9参照)をとりあげ理論値としては同区間に設置されている車両検知器のスキューニング周期である50mに対する計測誤差率を図-3-25に示した。実測結果は全て信頼度95%の異常通行率に対応する誤差率の範囲に入っており、9点中、7点は平均異常通行率に対応する誤差の範囲に入っている。しかし正常検知状態に近い実測値はほとんどないといえてよく、理論上は想定し得ても実際上は超音波式車両検知器の検知範囲の正常化はかなり困難であるといえよう。いずれにせよ実測結果は理論上の検知誤差の範囲におさまっていることは確認でき、断面交通量1000台/時~2000台/時における理論上の誤差の範囲は-3.1%~4.2%前後と考えるとよいであろう。



図一 3 - 2 5 交通量計測誤差範囲の理論値と実測例との照合

(図一 2 - 2 8 参照)

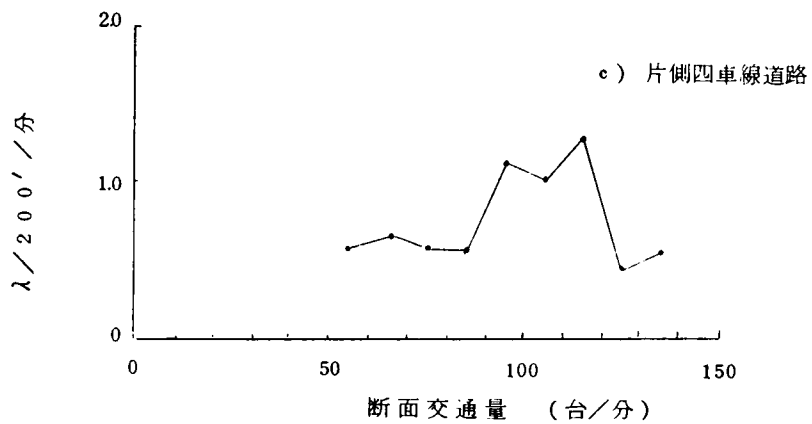
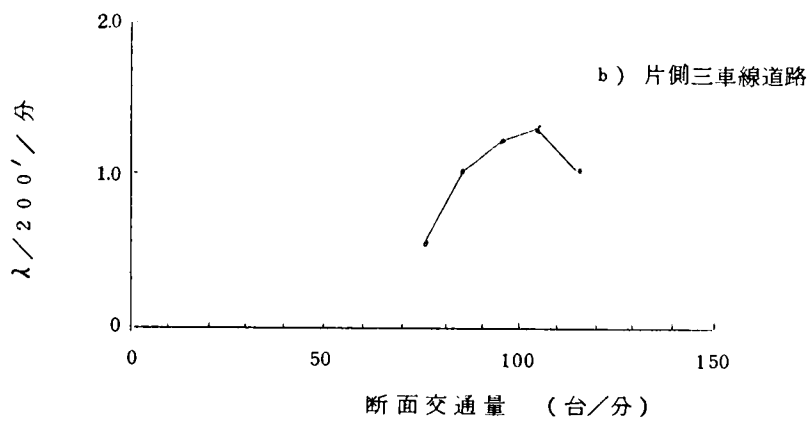
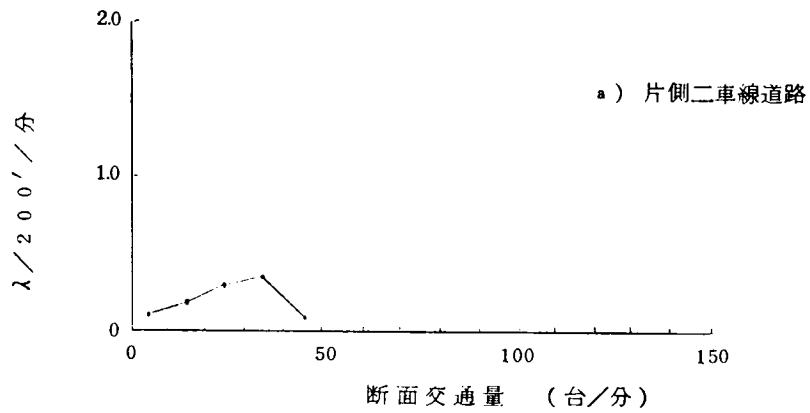
3-4 適用結果の評価と高異常通行率地点についての考察

3-4-1 多車線道路への適用の成果と問題点

これまでの研究の結果一車線交通流に対しての車両検知器の交通量計測過程モデルの多車線道路への適用の理論化が行なわれ、実測例との対比から名神高速道路のような片側二車線の地方部高速道路への理論の適用が可能であることが実証された。すなわち一車線交通流に対する交通量計測過程モデルにおいて交通流特性を示す基礎となった交通量、オキュパンシーおよび大型車混入率を断面交通に対する平均値とみなし、これに多車線の場合の交通特性として車線利用率、異常通行率の経験値をもとにして、交通量、オキュパンシーおよび大型車混入率の車線配分を試み、各車線について二重マルコフ連鎖を利用した交通発生モデルおよび計測過程モデルを適用し、最後にその合成を試みた結果、片側二車線の地方部高速道路における交通量計測の誤差率の範囲は断面交通量1000台/時～2000台/時においてはほぼ3%から4%程度であることが理論的に求められた。また最適スキューニング周期については絶対誤差率の最小化、異常通行車の検知状態から派生するプラスおよびマイナスの誤差率の平均化および検知対象交通量に対する誤差率の零ポイントという観点から一車線交通流と同じ最適スキューニング周期を片側二車線の場合にも最適としてよいことが確かめられた。結果的には誤差率の変動範囲は異常通行率によって支配され、誤差率の中に占める異常通行率の占める比重が非常に高いことも示された。

多車線道路への適用に際して特に問題となるのは異常通行台数のとりあつかいである。交通量がさらに増大した場合一極端な場合としてさらに渋滞状態になった場合一または交通量が非常に少ない場合にも一定の異常通行率を採用してよいかどうかは非常に疑問の残るところである。異常通行率と密接な関係にある多車線道路における車線変更を取りあげたR. D. Warraill と A. G. R. Ballen^(V)の研究によれば平均車線変更頻度の変化状態は図-3-26に示されるようにほぼ凸形状を示している。本研究の基礎資料となった名神高速道路における異常交通率と計測誤差率の実測資料は資料数と対象となった交通量の変動範囲が非常に限られていた関係もあり、異常交通率と断面交通量との相関性を検定の結果なしとして試算を進めたが、この方面での調査をさらに進めることにより、本計測過程モデルの適用範囲と現実性をより深めることが期待される。

さらに一車線交通流への適用の結語の部分で述べたように交通量とオキュパンシーの関係についての実測資料の積みかさねを十分に行なっていく必要がある。図-2-18～21までに示された5分間交通量とオキュパンシーの関係は車線平均値であり各種のパターンについて交通量発生モデルの適用は一応可能であったが、二車線への適用にあたってはオキュパンシーについても交通量や大型車混入率等と同様に走行追越両車線への配分を試みたが、交通量に対して平均オキュパンシーが比較的少



図一 3-26 平均車線変更頻度 (延長 200 フィートについて分平均) (λ) の
 平均値と交通量の関係

ない場合には、式(2-22)による推移確率要素Sの値が1よりも大となる場合もあり、この面で理論の適用可能な限度がある。車線交通量に対する車線オキュパンシーのようなより直接的なデータの集収が望まれる次第である。

3-4-2 高異常通行地点についての考察

本章においては、異常通行率の平均値および95%の信頼限界値を算定するにあたって西宮料金所付近および流出入交通量が多く断面交通量の激変する栗東インターチェンジ下り線での異常通行についての実測資料は除外して考えている。いわゆる平均的な異常通行を対象としてモデルを適用し車両検知器の一般的な誤差の範囲を求めるために行なった便法ではあるが実際問題としても通行車の走行軌跡のばらつきが大きく、見かけ上の計測誤差を大きくするような地点に車両検知器を設置すること自体も検知システムの全体の精度と信頼度を低下させることになり問題である。重交通を処理している流入ランプの下流および流出ランプの上流側に車両検知器を設置する場合にはこれらのランプから流出入しようとする車両による車線変更の影響がなくなる地点、すなわちオンランプの場合は高速道路への流入後希望速度と交通のサービス水準に応じた利用車線への移行が完了後、またはオフランプの上流側においては利用車線の走行から流出のための路肩側車線(名神の場合には走行車線)への移行が行われる地点よりも上流側に検知器を設置すればよいことになる。一般的にはK, MoskowitzとL. Newman^(vi)の研究結果で1960年度版 Highway Capacity Manual にも

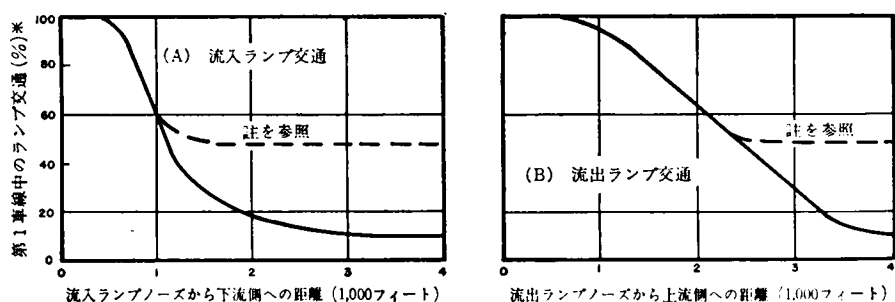
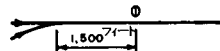


図8.24の使用例(例8.7の要約)



A-普通の計算

1方向2車線
通過交通=2,400台/時
流入ランプ=800台/時
①地点での量
通過(表8.3から)= $0.30 \times 2,400 = 720$
流入ランプ(図8.24 A)= $0.30 \times 800 = 240$
960

B-チェックの計算

第1車線上1,500フィート地点での百分率は破線より下にあるので、流入ランプ交通を通過交通と仮定して計算しなおす
①地点での量
通過(表8.3から)= $0.40 \times 3,200 = 1,280$
Bで計算しなおした値1,280の方がAの960より大きいので1,280を用いる

* この割合は、必ずしも自由交通流あるいは軽交通のもとにおける分布ではなく、該当する地点で右側車線の交通量が相当多く他の車線に移れる余地がある場合の分布である
注意：もし、該当する地点で第1車線中のランプ交通の百分率が破線の下にあれば、ランプ交通を通過交通と仮定して第1車線の交通量を計算しなおす必要があり、大きいほうの値を用いること。上の例を参照

図-3-27 第1車線中のランプ交通の百分率

採用されている図-3-27を参考にすればオンランプの下流側600m以上、オフランプの上流側1km以上の地点で設置の計画を行えば問題はなく通常の計測誤差である-3.5%~4%の範囲で計測が可能であろう。なお実際には地点毎の横方向走行位置の分布を調査するのが最も好ましいことはいうまでもない。

次に異常通行の点では第2章でとりあげた二車線ランプにおける問題点であるが2章4節で述べたように超音波を側射式にして検知範囲をランプの走行実態に合わせて定めれば非常に高い計測精度が得られることが示されている。このようなランプについての計測過程モデルの適用および実際の検知器の設置にあたってまず必要なことはランプ走行実態上の最頻通行帯は道路横断方向上どの位置にあるかを確かめることであろう。この種の実測例を図-3-28~31に示す。⁽⁹⁾同図は昭和44年10月に東名高速道路の静岡インターチェンジ下りオンランプにおいて実測されたものであるが図-3-29~31中のSは車道左端の縁石の前面から通行車の左前輪端までの距離を示す。図-3-29, 30および31は車道中心の曲線半径がそれぞれ200m, 90mおよび45mの部分のSの分布図であるがこれらの分布図から曲線半径が小さくなるにつれて走行位置が路側へ寄っていくことが推察される。この様な調査により最頻通行帯が求められれば、この通行帯の中心をねらって検知範囲を定めればよい。二車線ランプについても同種の調査を行えば各通行帯の中心が求められ、検知上の車線境界線はこの両通行帯中心の中間点に位置するものと考えればよい。この実際上のレーンマークとは異なる走行実態上から定まる車線境界線をまたぐ車両の分布を調べれば実態に即する異常通行率も検知対象係数も定めることができ理論上は交通量計測過程モデルの二車線ランプへの適用が可能となる。この種の実態調査が望まれる次第である。

SHIZUOKA INTER-CHANGE

ON RAMP FOR NAGOYA

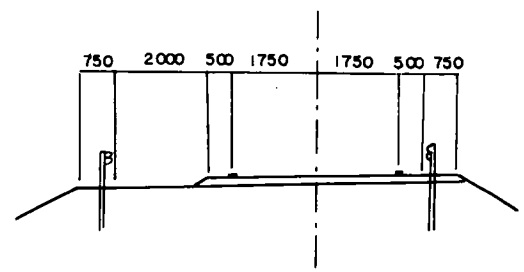
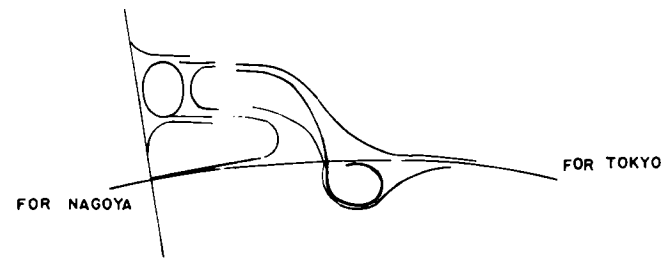
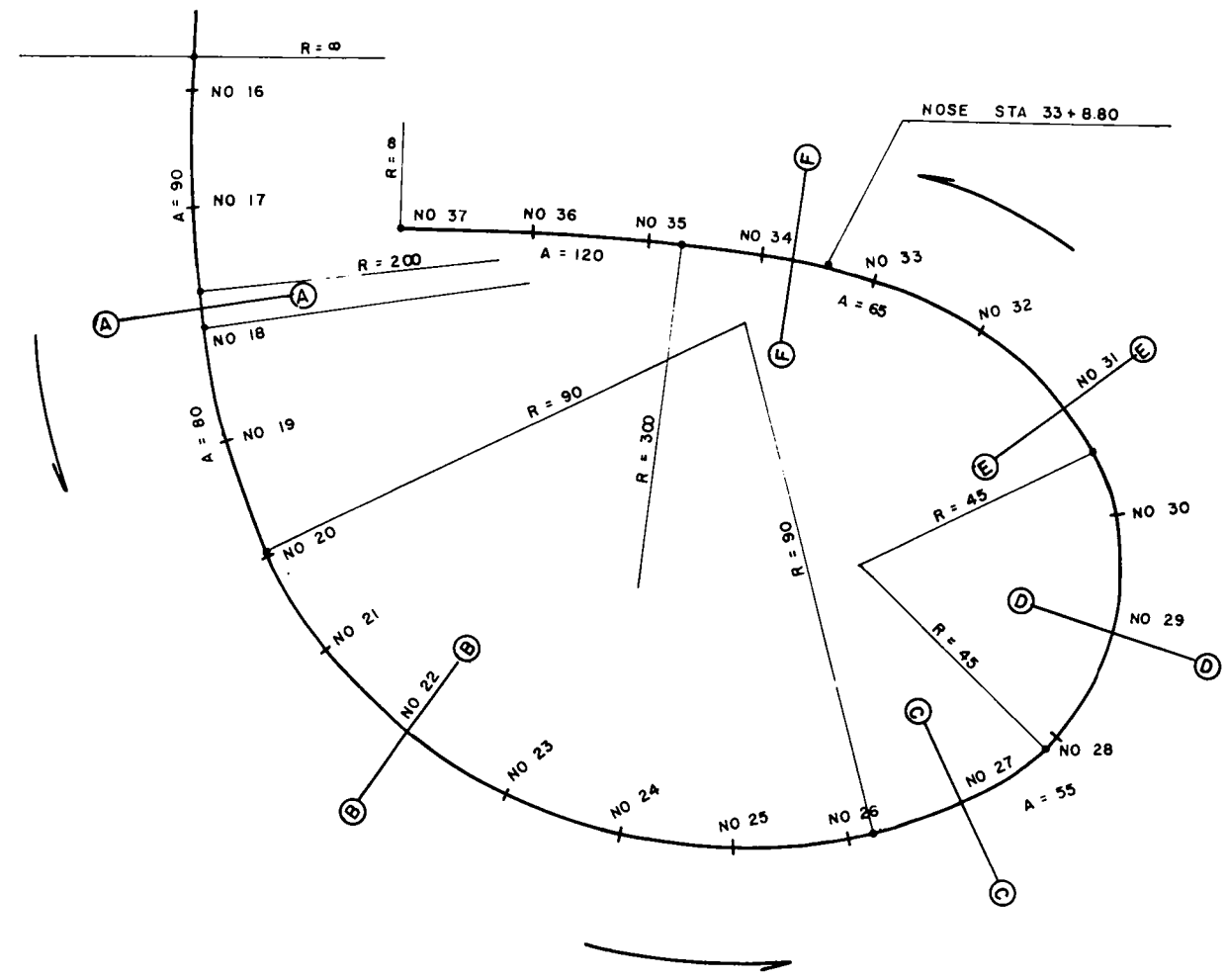


図-3-28 調査地点位置図

(m)						
NO.	NAME	STA. NO	MILEAGE	R	A	
1	A	17+17.2	357.2	200		
2	B	22	440.0	90		
3	C	27	540.0	61.3	55	
4	D	29	580.0	45		
5	E	31	620.0	54.2	65	
6	F	33+15.0	675.0	128.0	65	

静岡 A

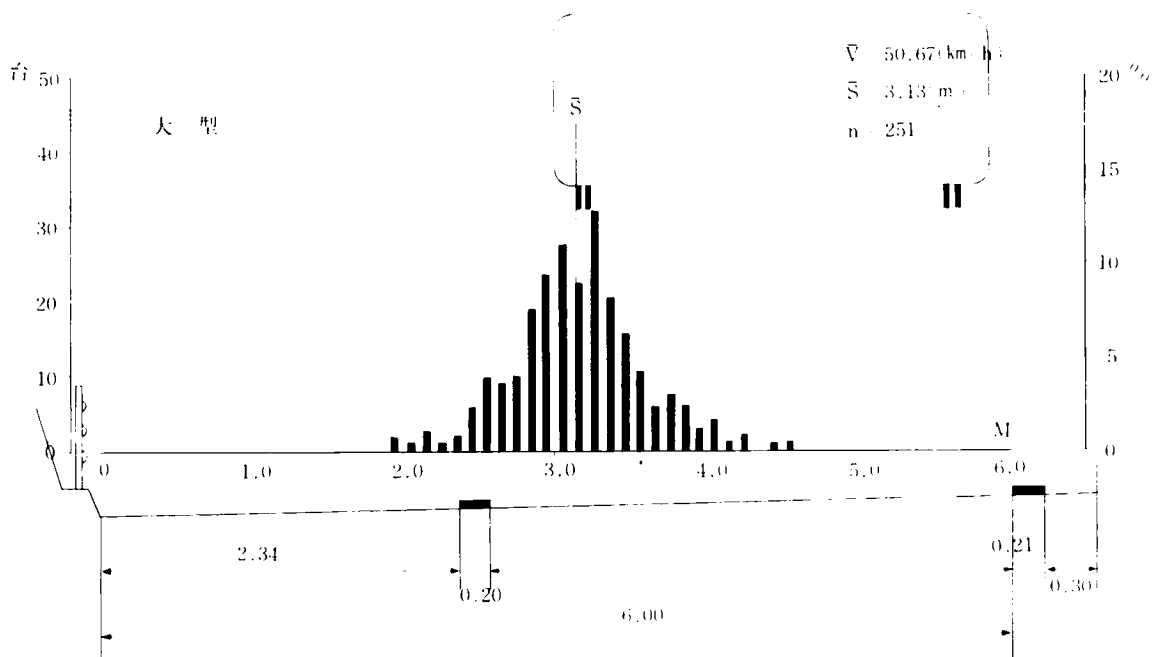
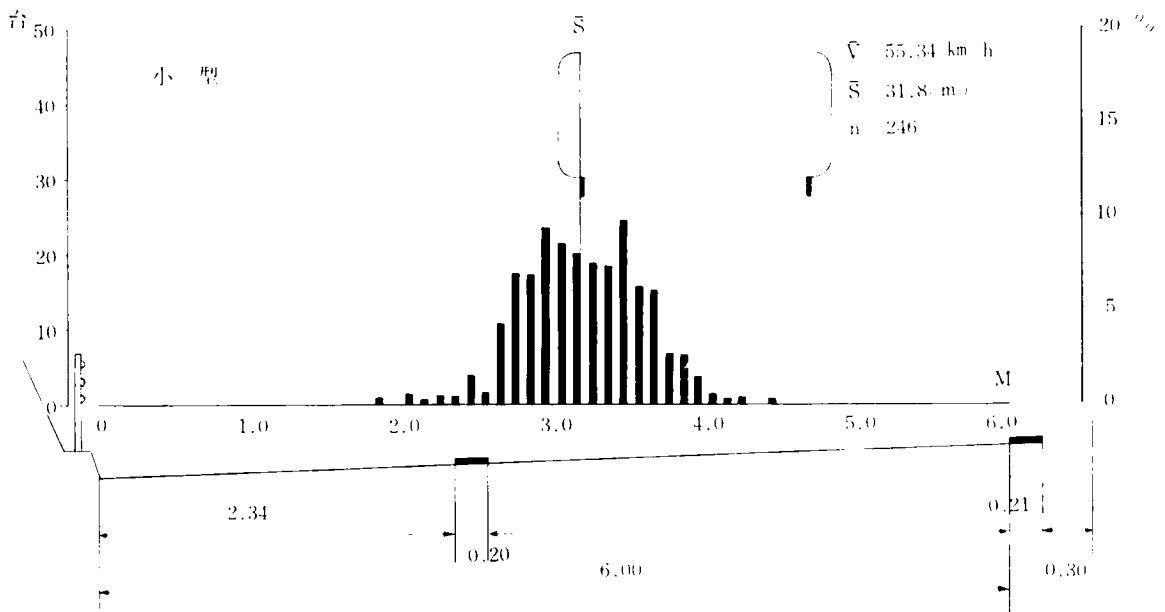


図 3 2 9 ランプ曲線部 (R = 200 m) における
車種別走行位置の分布

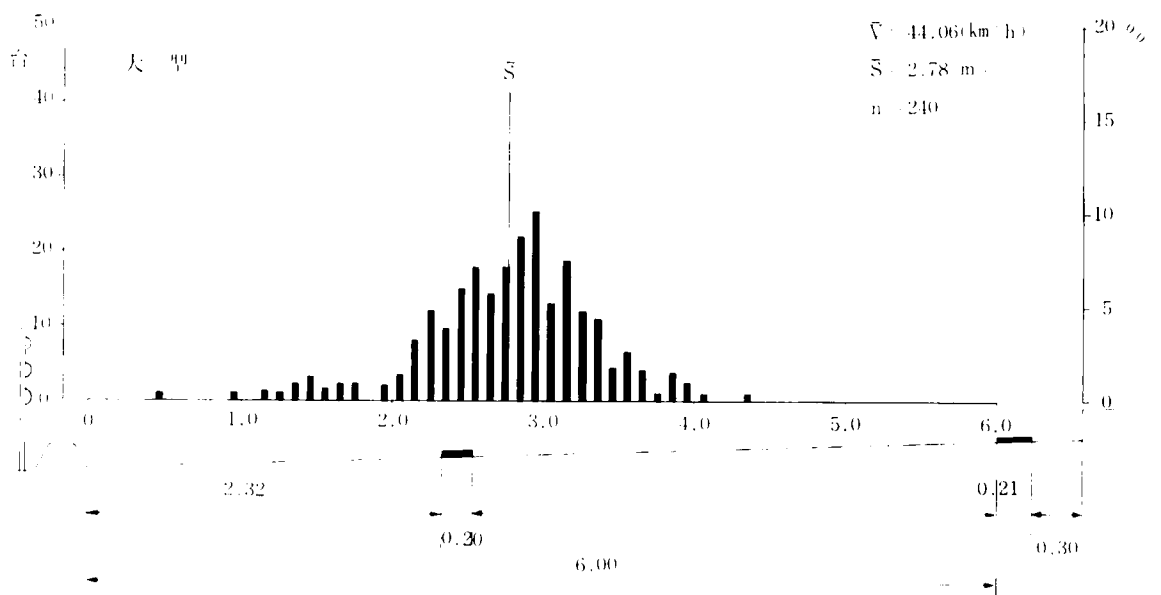
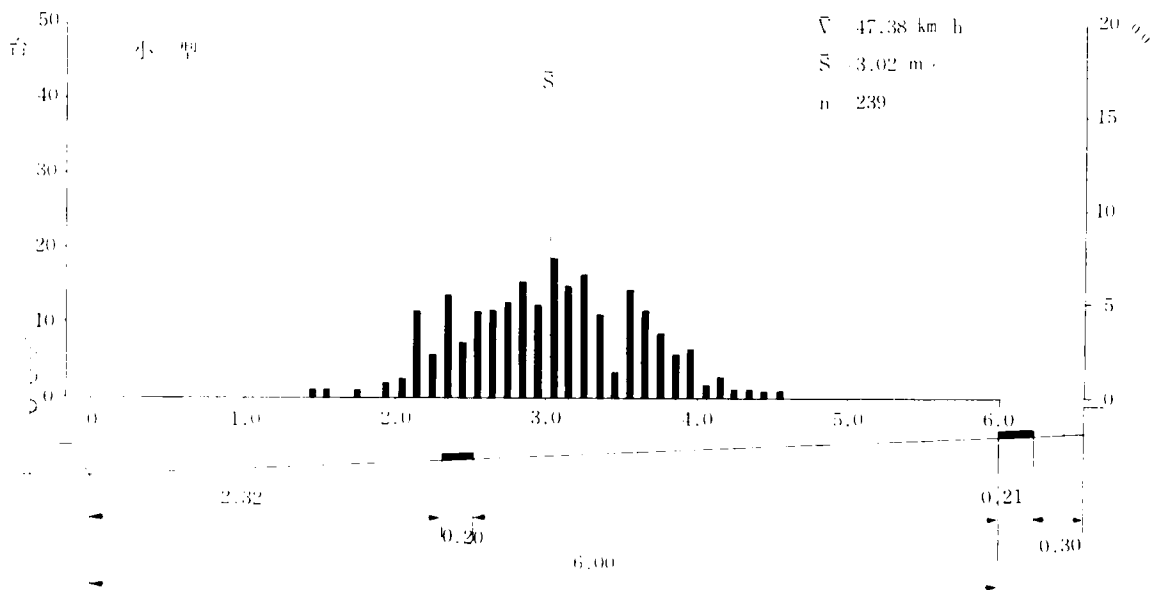


図-3-30 ランプ曲線部 ($R=90 \text{ m}$) における
車種別走行位置の分布

静岡 D

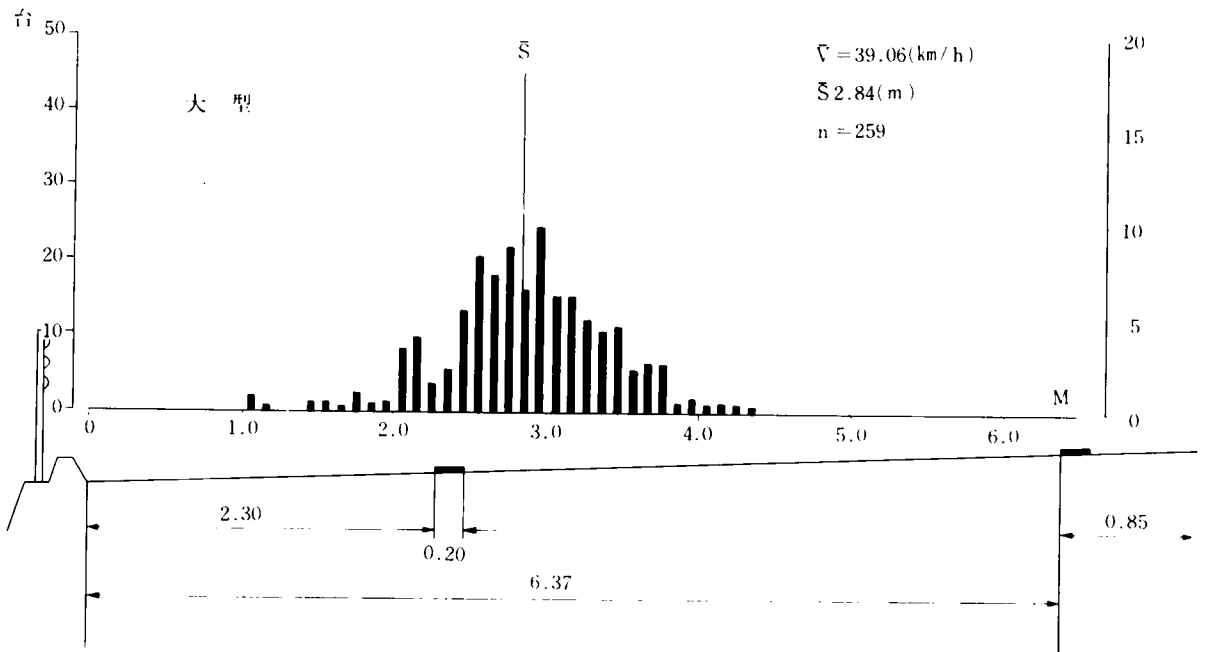
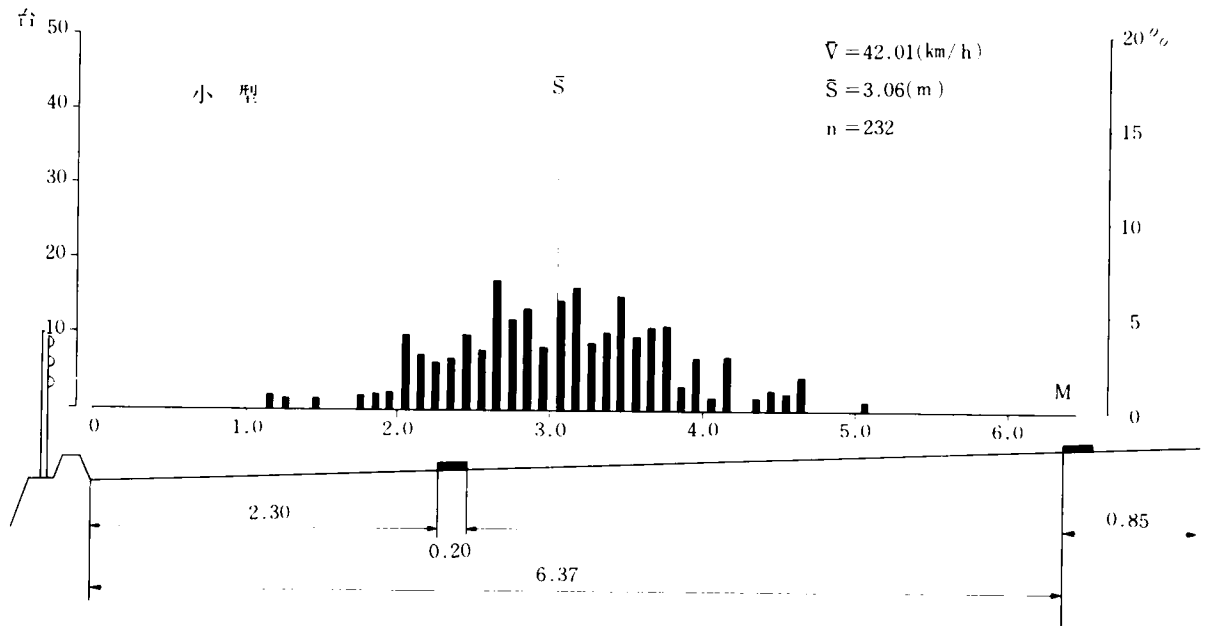


図-3-31 ランプ曲線部 (R 4.5) における
車種別走行位置の分布

参 考 文 献

- (1) 佐佐木 綱，井上矩之； 1 方向 2 車線道路における交通量の車線分布について、土木学会第 26 回学術講演会講演集，第 4 部 昭和 46 年 10 月 P 165～166
- (2) 井上矩之； 2 車線高速道路における交通量の車線分布について、土木学会論文集（投稿中）
- (3) 高速道路調査会交通工学研究部会，6 車線区間調査専門委員会； 6 車線区間の運用に関する走行実態調査報告書（東名高速道路），昭和 44 年 3 月 P 19～21
- (4) 日本道路協会，名神高速道路舗装特別委員会； 名神高速道路舗装の改良に関する調査研究報告書，昭和 47 年 2 月，P 70～71
- (5) 日本道路公団高速道路名古屋管理局； 名神高速道路の走行実態調査報告書 1970 年 10 月 P 96～111
- (6) 上掲(3)P 55～56
- (7) 高速道路調査会交通流監視制御研究班； 高速道路の交通流監視制御装置に関する研究報告書，昭和 46 年 2 月，P 33～64
- (8) 高速道路調査会交通流監視制御研究班； 高速道路の交通流監視制御装置に関する研究報告書，昭和 48 年 2 月 P 130
- (9) 日本道路公団； ルーブリック走行実態調査報告書，1970 年 1 月，P 44～49

- (i) G. F. Newell, "Mathematical Model for Freely-Flowing Highway Traffic" Opns. Res. 3, 176~186 (1955)

- (ii) A. Renyi "On Two Mathematical Models of the Traffic on a Divided Highway" Appl. Probability 1, 311-320 (1964)

- (iii) H. J. Holland, "A Stochastic Model for Multilane Traffic Flow" Trans. Sci. , 1(3), 184~205, 1967

- (iv) A. J. Miller, "An Empirical Model for Multi-lane Road Traffic" Civil Eng , Dept. Melbourne Univ. 1968

- (v) R. D. Worrall and A. G. R. Bullen "An Empirical Analysis of Lane-change on Multi-Lane Highways" Peat, Marwich, Mitchell & Co. , Univ. of Illinois, August 1969

- (vi) Karl Moskowitz and Leonard Norman, Notes on Freeway Capacity Traffic Bulletin No4, State of California, Division of Highways, July, 1962 4/62. Fig. 3.

第 4 章 車両検知器の地点配置論

第4章 車両検知器の地点配置論

4-1 地点配置の実例とこれまでの研究

4-1-1 地方部高速道路への車両検知器適用の背景

第2章および第3章までの研究で車両検知器の精度を最適に治めるためのスキミング周期の決定と、多車線地方部高速道路における計測台数の信頼限界の推定を試みて、車両検知器を各車線に配置した場合の断面交通量計測台数についての確からしさの限度を求めたわけであるが、元来本研究でとりあつかっているような超音波式あるいはループ式等の車両検知器は、単に道路の一断面の交通量をとらえて時間的変動等を云々するというよりは、その機能上の効率からも多数の検知器を道路の路線上に、または網の上に配置して渋滞や事故の検知を行ない効率的な交通運用の一助とするところに本来の使用目的があるものと考えられる。多数の車両検知器の配置を考える際の基本となることは、車線配置された車両検知器から同時に得られる多数の断面交通量のうち相隣接しているものの相互関係であろう。すなわちある地点で得られた断面交通量とその下流側にある最寄の車両検知器からえられる断面交通量との間にはどのような関係があるのか、またもし両地点間に事故等の異常交通現象が生じた場合、2章および3章までの研究で得られた断面交通量の信頼限界からいって、どの程度の推論が可能なのか、また上流側、下流側の車両検知器間の間隔が、このような推論にどのような影響を及ぼすかが基本的な問題となつてこよう。

もちろん車両検知器の配置については道路の性格、検知器の使用目的および使用目的を生かすための基本理論等によって上述したような基礎的現象論によらずに定めることも可能であり、現実の問題として車両検知器活用の本舞台ともいふべき都市内高速道路の交通管制においては⁽¹⁾制御方式と制御理論によって車両検知器の配置と活用が行なわれている。しかし本研究の場である地方部高速道路においてはインターチェンジ間隔が長く、同一断面が長く続く区間が多数現れる道路の交通実態を把握していくうえで上記のような基礎的考察を避けていくことは不可能である。以下に本節では車両検知器の高速道路への適用例を紹介するとともに、これまでに行なわれた車両検知器の地点配置方式についての研究概要を述べ、本章の研究課題となる車両検知器相互の関連性についての研究の手がかりを得ることを試みる。

4-1-2 高速道路における車両検知器の適用例

⁽²⁾車両検知器を駆使し高速道路の効率的な運用を計る交通管制技術の先駆となったのはやはり交通工学自体の発祥の地であるアメリカである。図-4-1に現在アメリカで高速道路の交通管制が実施さ

れている都市を示す。特に黒丸で示されたものは5大プロジェクトと称されているものであるが、その方式の主流をなすものは、高速道路上における隘路にその容量以上の交通量を流さないように上流側のオンランプに信号器を設けオンランプからの流入台数を調整する、いわゆるランプメータリング（流入調整）であるが、流入調整技術的には、本線交通量の交通容量より余裕分だけオンランプから



図－４－１ 米国の高速道路交通管制システム位置図

の流入を許すといういわゆるシカゴ方式とオンランプ上流側外側車線にある流入可能車間距離を検出し、これにタイミングを合わせてオンランプからの流入を許すヒューストンの方式が有名である。

その他の国でも西ドイツ、イギリス、およびフランス等において種々の交通制御方式が開発研究され車両検知器の活用が計られている。⁽³⁾すなわち西ドイツではミュンヘン～ザルツブルグ間の高速道路上で可変標識による速度規制の実験が行なわれ、また1971年には、フランクフルト～ハイデルベルグ間で緊急時における回制御の実験が行なわれている。イギリスではM5、M4などの高速道路上に信号、可変標識を設置し、工事、気象条件、速度指示等の情報提供を利用者に行なっている程度である。フランスでは並行して走るA6とH6の間の最適利用の問題が注目をあびているが、流入管理やルート指示等の制御方式が検討されている段階である。

以上が欧米各国の高速道路における交通管制実施状況の概略であるが、実用段階で最も進んでおりまた効果も上っているアメリカにおける交通管制での車両検知器の使用例を上述のシカゴ方式とヒューストン方式について以下に記す。

(1)

シカゴにおいて1963年高速道路の交通管制の実験区間としてとりあげられたアイゼンハワー高速道路西向きの車道ファースト通りからセゼロ通り間約1.5kmの間に配置された車両検知器の設置位置の概略を図-4-2に示す。実際の流入調整は図-4-3に示すような5箇の検知器を駆使して行

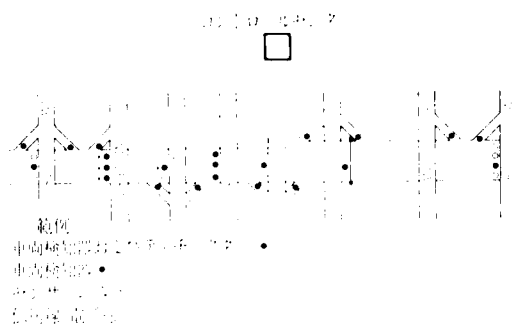


図-4-2 シカゴの実験システムにおける検知器の配置

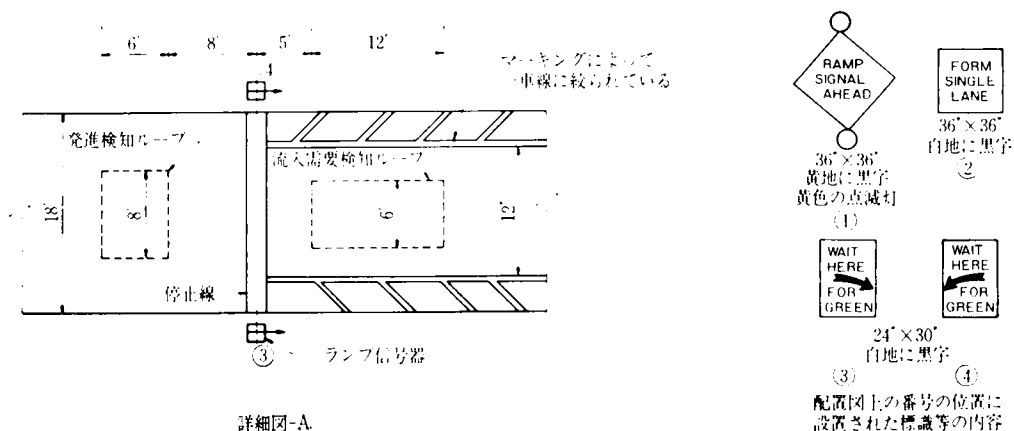
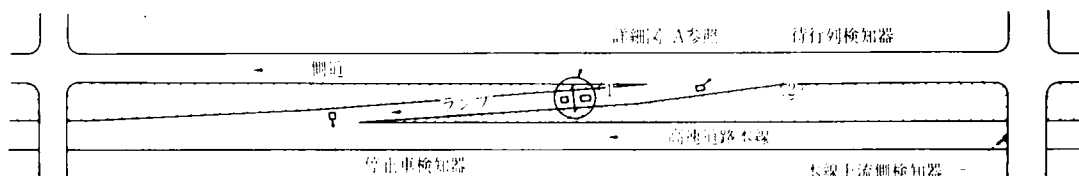
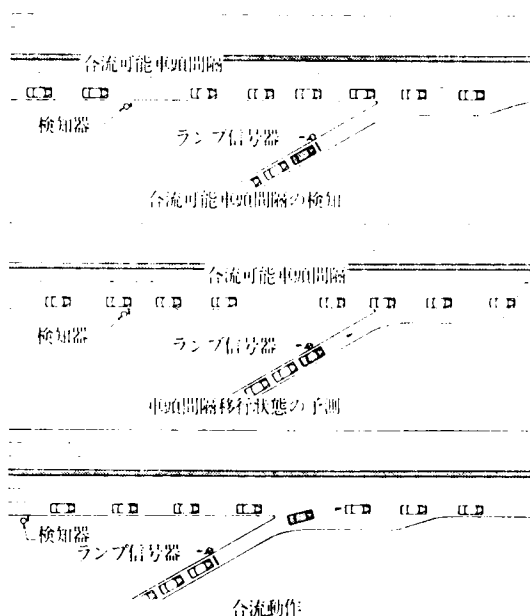


図-4-3 ランプ流入調整機器配置図

なわれる。流入調整の行為自体は流入調整地点に設置されたランプ信号器によって行なわれるが、この信号器のタイミングを決めるのは本線上の上流側のオキュパンシーを求める本線上流側検知器と流入車の待合わせ状態、および発進または停止の状態を検知するオンランプ上の4箇の検知器からの情報である。

またヒューストンのガルフフリーウェーで行なわれている交通管制で採用された合流可能車頭間隔方式（Gap Acceptance Mode）の説明図を図－４－４に示す。基本的な考え方はまずランプ上流の本線路肩側車線で流入可能な車頭間隔を検知し、ランプ信号で待機している車に合流地点で検知されたギャップに出合うようなタイミングで青を与えるという制御方式で当然本線側の検知器には速度の測定も必要となってくるものである。上記いずれの場合も本線上の上流側検知情報と流入調整地点での信号器運用の関連を重視せざるを得ずこの面での研究で大いに進められ実用化されたのである。

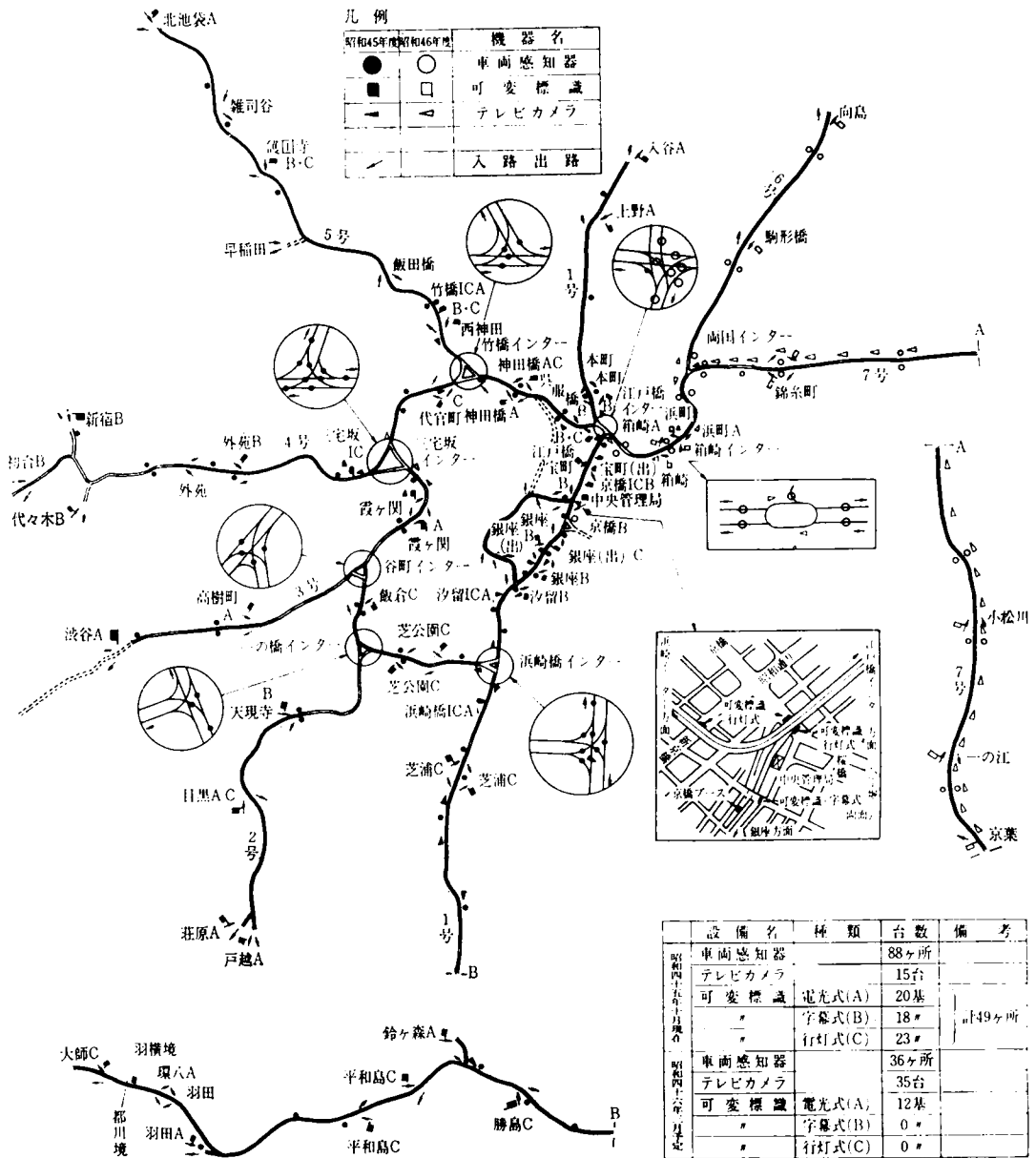


図－４－４ 合流可能車頭間隔方式

さて日本の高速道路における交通管制の現状と各種車両検知器の配置状態であるが、本格的な交通管制が実施されている首都高速道路、阪神高速道路および名神高速道路について概略説明を加えると次のとおりである。

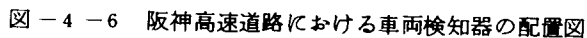
まず首都高速道路であるが⁽⁴⁾利用交通の増大にともない、単に情報の提供で処理できる交通量の範囲をはるかに超えた交通需要を処理するために、首都高速道路の命脈ともいふべき環状線を優先路線

とし渋滞の発生と波及を極力防止しつつ最大の交通量を処理することを基本方針とし、交通量の調整手段としては入路閉鎖と流入制限（レーンコントロール）を主体としている。車両検知器の配置状況は図－４－５のとおりである。

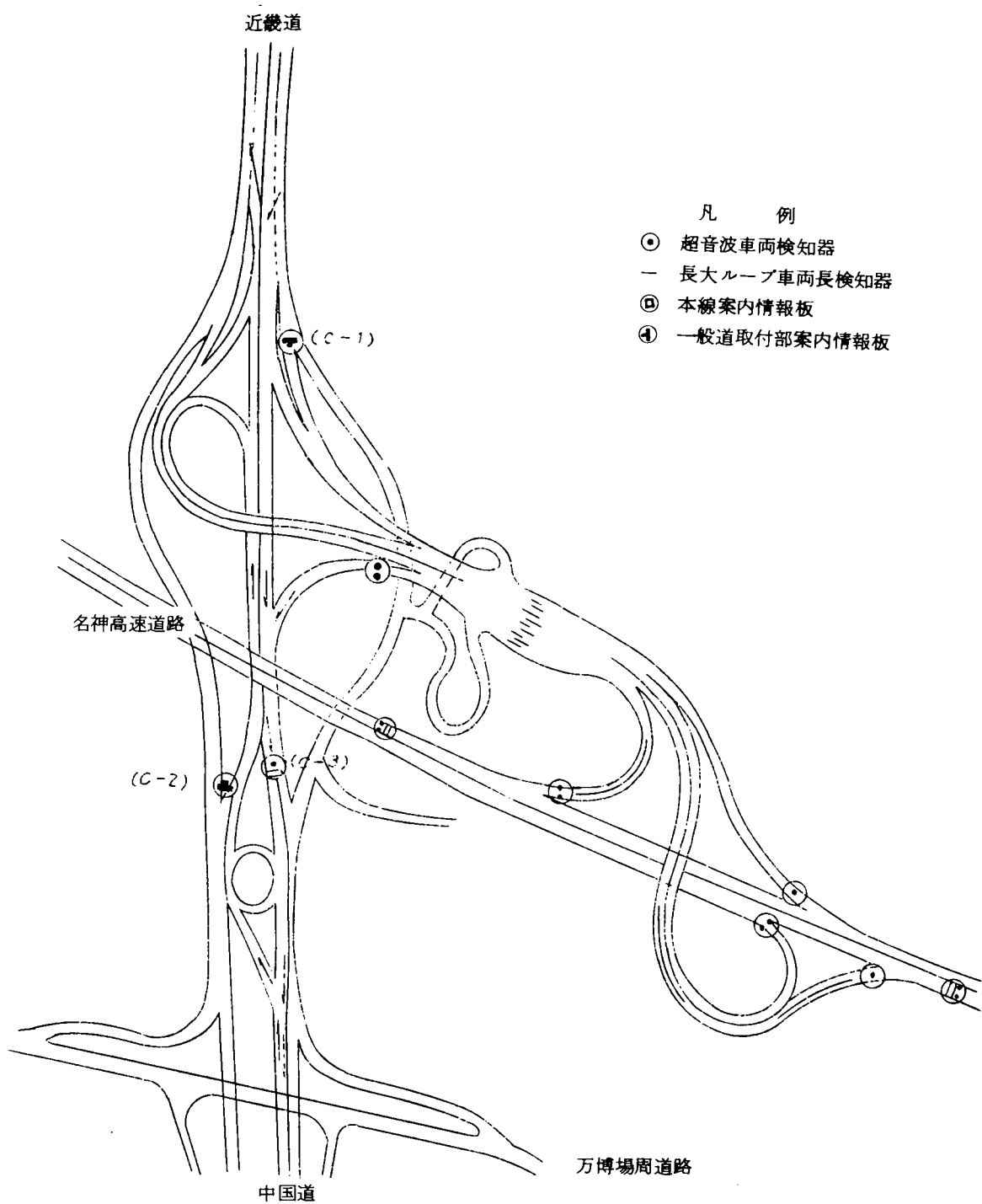


図－４－５ 交通管制機器配置図

次に阪神高速道路においては、各道路区間の交通量が交通容量以下であって道路利用台数が最大となるように流入ランプからの流入交通量を最大となるように計画されたLP制御と、非定常時において混雑区間にもっとも早く影響を及ぼすランプから逐次車両流入の制限を行なう逐次ランプ閉鎖方式を基本方式として採用し、車両検知器は図4-6のように配置されている。阪神高速道路、首都高速道路共に流入ランプ間隔は短く、車両検知器は、各オンまたはオフランプ上、あるいは渋滞発生予測される単路部に一組が配置され流入交通量のODに基づいた区間交通量の予測、あるいは渋滞状況の把握に適した形態を示している。



— 167 —



図－４－７ 名神高速道路における機器配置例（吹田ＩＣ）

インターチェンジタイプで入口での通行券発行、出口での料金徴集というシステムを採用している関係から、オフランプ上に料金所までの待ち行列が発生しやすく、このための渋滞状況の推定のため図ではオフランプ上に長大ループが採用されている。特に図に示す名神高速道路吹田インターチェンジの場合は昭和４５年に開催された万国博覧会の会場へのメインゲートとして万国博覧会交通対策の一環として設けられた名神高速道路交通管制システムの中心的インターチェンジであり、万国博開催時の交通処理上中心となった所で検知器、案内情報板の設置も充実したものとなっている。万国博対策の交通管制システムは名神高速道路の西宮～栗東間の各インターチェンジにも主として吹田インターチェンジへ向う方向の各オンランプ、オフランプおよび本線上にもほぼ同様に車両検知器が設けられた。これら各検知器の情報に基づいて、会場へ向う交通のルート誘導等が行なわれ十分な成果が得られたのである。この吹田交通管制システムは万国博終了後も稼働が続けられ、機器的な整備拡充も続けられてきているが地方部高速道路における交通制御のあり方としては、都市内高速道路と異なり流入制御よりはむしろ流出制御に重点をおいたシステムにすべきであるという方向づけが行なわれている。

すなわち地方部高速道路においては都市内高速道路と異なりネットの形成というよりはむしろ線的な一方向性を持ち、平行する回路にも恵まれている場合が多くしかも料金も後払い精算方式であるので強制流出に対してあまり抵抗がない。しかもインターチェンジ間隔も長く、利用者の平均トリップ長も長いので渋滞予測区間の手前の所までも十分に道路利用の価値があり、またトリップ長が長いだけに途中で降ろしても再び高速道路の利用が考えられるから、現実には渋滞の発生した区間だけをバイパスして高速道路の利用率の増大を計るべきであるという考え方である。⁽¹⁾

ここで再び交通制御上の問題点としても明らかにしなければならないことは渋滞の発生した区間をどのようにして検知するか、そのためには車両検知器をどのように配置すべきかが問題になってくる。以下にこれまでに行なわれた都市間高速道路の単路部における車両検知器の配置方法について概略を紹介する。

４－１－３ 単路部における地点配置原理

車両検知器の地点配置については高速道路調査会の交通流監視制御研究班において昭和４４年以来研究され事故等による渋滞の発見という目標のもとに現在までに下記の４方式が提案、検討されてきた。その他に車両検知器を設けた場合の費用便益による評価も考慮されているが具体的な数値計算の結果方針として打出されている４方式について簡単に述べると次のとおりである。⁽⁶⁾

(a) 等間隔配置方式

交通渋滞の発見および渋滞長の推定を目的とする配置方式で、地方部高速道路において最も重大事

態である完全閉鎖状態を考えた場合、実用上は2.5 Km～5 Kmの等間隔で設置するのが望ましいとするものである。なお本方式は事故等の発生確率が高速道路上では一様であることを前提としている。

(b) 3 分配置方式

インターチェンジ間を、その長短にかかわらず3分する地点に車両検知器を設置する方式で、相似的配置とも呼ぶ。本方式は交通停滞時における流出推奨および流出指示を適切に行なうことを目的とするものである。

(c) 等事故密度配置方式

事故を原因とする交通渋滞の早期発見をめざすもので、各車両検知器間での事故発生件数がほぼ等しくなるように車両検知器を配置する方式である。なお名神高速道路における今までの事故発生状況を見ると交通量の多いところでは事故の発生密度はほぼ一様になっており、本方式に従って車両検知器を配置した場合(a)の等間隔配置の場合とほぼ同じことになる。

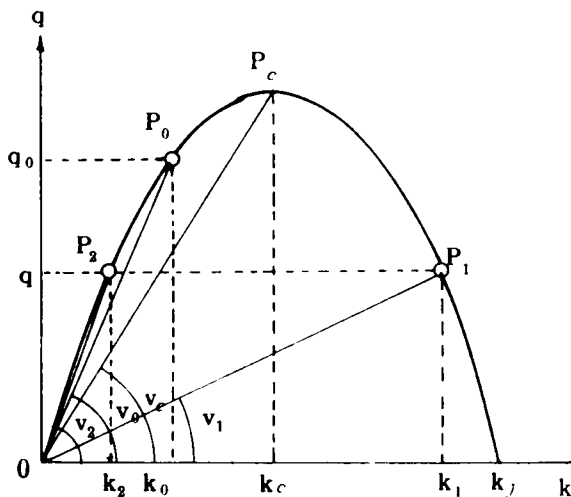
(d) 道路条件に基づく配置

自然渋滞の発生が予想される登坂部近傍、トンネル人口付近およびカーブ部分に車両検知器を配置する方式で、渋滞の早期発見と渋滞程度の推定を目ざすものである。

以上4方式のうち(c)および(d)は個々の道路についての経験にもとづいた判定に依るところが多いが、(a)および(b)は衝撃波理論に基づく理論的なものである。以下に等間隔配置方式と3分配置方式の理論の概要を紹介すると次のとおりである。(7)

いまある定常一様な交通状態(密度 K_0 , 速度 V_0 , 交通量 q_0)で流れていた交通流において、ある車が時刻 $t = t_0$, 場所 $X = X_0$ で事故または故障等で車線上に停止したとする。事故発生後の発生地点付近の状態は交通量が上流側 q_1 , 下流側 q_2 とも、この隘路の疎通能力 q に支配され上流側では高い交通密度の渋滞領域が上流側へ、下流側では低交通密度の自由交通領域が下流側へ伝播していく。この関係を交通量～密度曲線上に示したのが図-4-8である。渋滞領域および自由交通流領域の前面をそれぞれ前面-Iおよび前面-IIとすればこれら前面の移行速度は図上で P_0 からそれぞれの状態を示す P_1 および P_2 を結ぶ直線の勾配として求められる。 $P_0 \sim P_1$ の勾配が負となるのは渋滞領域が上流側へ伝播していくことを示している。これら前面の伝播速度は前面-IおよびIIを横切る車両台数の連続式を立てても求めることができるのは当然のことである。各領域の時間の経過に伴う伝播の状況と交通密度の道路延長上での変化状況を示したものが図-4-9である。

次に車両検知器が道路上に n 個設置されている状態を考える。観測地点の番号を $0, 1, \dots, i-1, i, i+1, \dots, n$ とつけ、それぞれの観測地点の座標を X_i ($i = 0, 1, \dots, n$) とし、観測地点 $i-1$ と i によって挟まれる区間を区間 i とし、この区間長を l_i で表わすものとする。事故は区間



$P_0 (k_0, v_0, q_0)$: 事故発生
前定常状態を表わす点

$P_1 (k_1, v_1, q_1)$: 事故発生
後上流側の新しい定常状態を
表わす点

$P_2 (k_2, v_2, q_2)$: 事故発生
後下流側の新しい定常状態を
表わす点

$P_c (k_c, v_c, q_c)$: 臨界状態
を表わす点

(座標は順に交通密度、速度、
交通量を表わす)

図-4-8 典型的な $q \sim k$ 曲線

i 上で発生しかつ区間 i の始点 (上流端) X_{i-1} より距離 y の所で発生したとするとこの地点が図-4-9における X_0 であるから $X_0 = X_{i-1} + y$ の関係がある。

次に前面 I, II がそれぞれ観測点 $i-1$ と i を通過する時刻を τ_1, τ_2 とすると

$$\tau_1 = \frac{y}{C_1} = -\frac{K_1 - K_0}{q - q_0} y, \quad \tau_2 = \frac{\ell_i - y}{C_2} = \frac{K_0 - K_2}{q_0 - q} (\ell_i - y) \cdots (4-1)$$

となる。

ここで区間 i の区間平均交通密度に注目すると、 $\tau_1 < \tau_2$ の場合は渋滞領域の前面が自由交通領域のそれよりも早く区間 i の外側へ抜け出すことになり区間密度としては時間の経過とともに低下し、 τ_2 以後は y によって分けられる k_1 と k_2 の各交通密度を加重平均した値に治まることになる。すなわち事故発生地点が相対的に上流側にあるときは自由交通の広がっていく範囲が広く、区間密度としては事故発生後減少していく。 $\tau_1 > \tau_2$ の場合はその逆の現象が生じる。 τ_1 と τ_2 の大小関

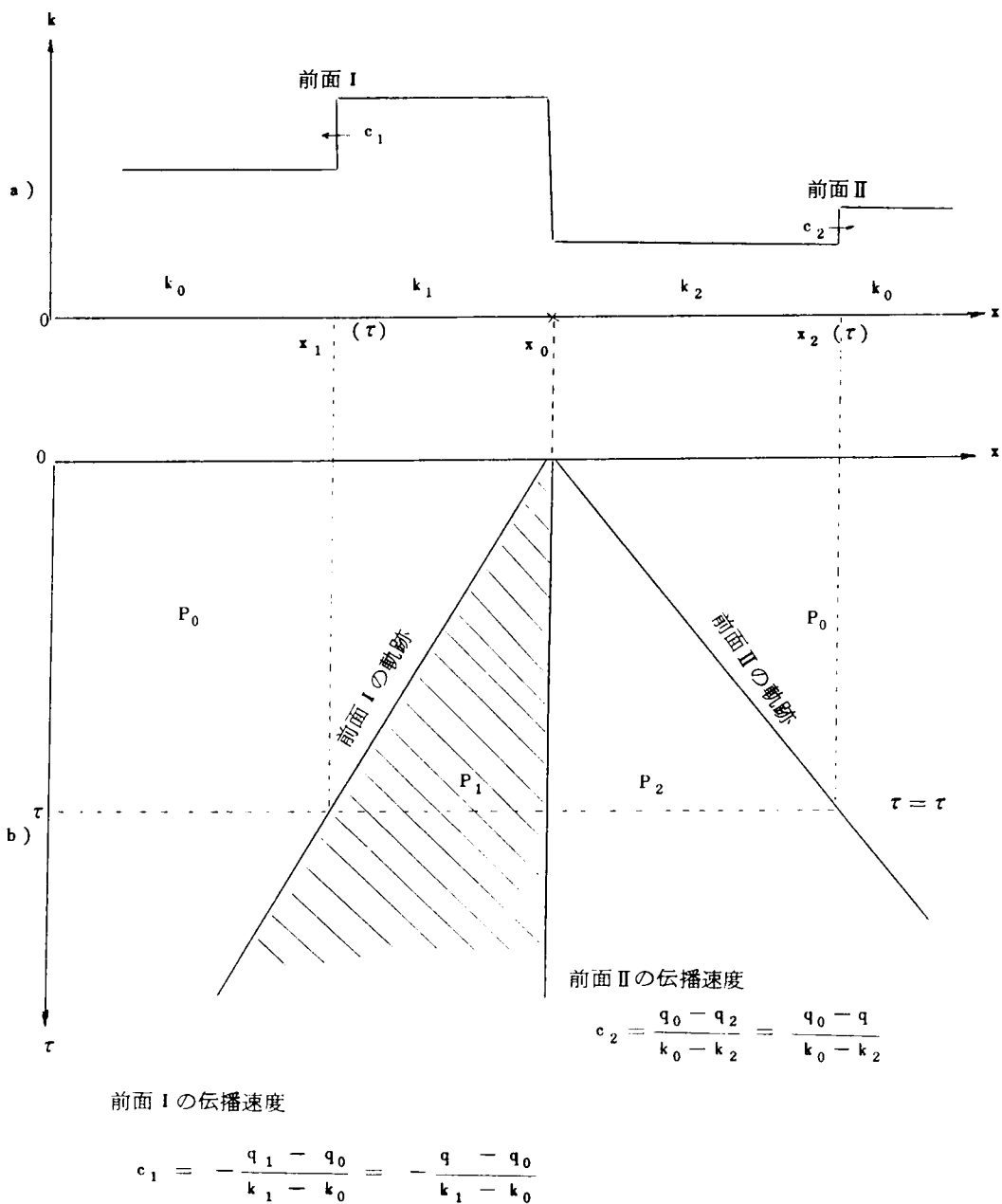


図-4-9 衝撃波の伝播と停滞の発達

係について調べると

$$\tau_1 - \tau_2 = \frac{y}{C_1} - \frac{\ell_i - y}{C_2} = \frac{1}{q_0 - q} \left\{ (k_1 - k_2) y - (k_0 - k_2) \ell_i \right\} \dots\dots\dots (4-2)$$

となるから

$$\left. \begin{array}{ll} \text{i) } \tau_1 < \tau_2 \text{ となるのは } & y < \frac{k_0 - k_2}{k_1 - k_2} \ell_i \\ \text{ii) } \tau_1 = \tau_2 \text{ となるのは } & y = \frac{k_0 - k_2}{k_1 - k_2} \ell_i \\ \text{iii) } \tau_1 > \tau_2 \text{ となるのは } & y > \frac{k_0 - k_2}{k_1 - k_2} \ell_i \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4-3)$$

である。

さてここで事故発生後渋滞が発見されるまでに要する時間を吟味して車両検知器の地点配置についての考察を加える。基本となる考え方はある区間の区間密度 $k_i(t)$ が臨界密度 K_c を超過したとき事故が発生したのと考えてよいと判断することに基づいている。事態の重大性と解析上の便宜面から完全閉塞の場合についてのみ考察を加えると次のとおりである。事故発生区間であっても式 (4-3) で示されるように事故発生地点の位置によって区間密度が発生後増加するか減少するかが定まる。それぞれについて発生後発見までの所要時間 τ_c を求めると次のとおりである。

(i) 事故発生区間で渋滞が検出される場合

区間平均密度が K_c よりも大となる場合であるから $K_c \ell_i < k_j y$ の場合である。いまこの条件に合った事故が $t = t_0$ で発生したとき何分後に事故の発見が可能になるかを求めてみると、 t_0 より τ だけ時間が経過した時の区間密度 $k_i(\tau)$ は、

$$k_i(\tau) = \begin{cases} k_0 & (\tau \leq \tau_2) \\ k_0 + \frac{q_0}{\ell_i} (\tau - \tau_2) & (\tau_2 < \tau < \tau_1) \dots\dots\dots (4-4) \\ k_j \cdot \frac{y}{\ell_i} & (\tau_1 < \tau) \end{cases}$$

ここに

$$\tau_1 = \frac{k_j - k_0}{q_0} \cdot y, \quad \tau_2 = \frac{k_0}{q_0} (\ell_i - y) = \frac{\ell_i - y}{V_0}$$

ここで τ_1 は図-4-9において前面Ⅰの伝播速度の式で $q_1 = 0$, $k_1 = k_j$ を代入して得られる伝播速度を考えた場合、 C_1 の伝播速度で距離 y だけ進むに要する時間、すなわち前面Ⅰが観測点 i を通過する時刻を意味する。 τ_2 も同様に 前面Ⅱが観測点 $(i+1)$ を通過する時刻であり、事故発生位置の条件 $K_c \ell_i < k_i y$ から当然 $\tau_1 > \tau_2$ である。

停滞発見時刻 τ_c は $K_i(t) > K_c$ の条件から

$$K_i(\tau) = K_0 + \frac{q_0}{\ell_i} (\tau - \tau_2) = K_0 + \frac{q_0}{\ell_i} \left(\tau - \frac{\ell_i - y}{V_0} \right) > K_c$$

$$\therefore \tau_c = \frac{K_c}{\frac{q_0}{\ell_i}} \ell_i - \frac{y}{V_0}$$

となり、 τ_c は q_0 , V_0 , y の関数となる。速度と密度に直線式を仮定して

$$V_0 = ak_0 + b \quad (a < 0, b > 0 \text{ の定数}) \quad \cdots \cdots (4-5)$$

を用いると

$$\tau_c = \frac{1}{ak_0 + b} \left(-\frac{k_c}{k_0} \ell_i - y \right) \quad \cdots \cdots (4-6)$$

(ii) 事故発生区間で停滞が検出されない場合

区間平均密度が K_c よりも小となる場合であるから $K_c \ell_i > K_j y$ の場合で、このときは1つ上流の区間密度 $k_{i-1}(\tau)$ が最も早く K_c を越える。区間密度 $k_{i-1}(\tau)$ の変化のようすは(i)の場合と同様に

$$k_{i-1}(\tau) = \begin{cases} k_0 & (\tau \leq \tau_1) \\ k_0 + \frac{q_0}{\ell_{i-1}} (\tau - \tau_1) & (\tau_1 \leq \tau < \tau_1 + \frac{\ell_{i-1}}{C_1}) \quad \cdots \cdots (4-7) \\ k_j & (\tau_1 + \frac{\ell_{i-1}}{C_1} \leq \tau) \end{cases}$$

ここに C_1 は前面Ⅰが区間 $i-1$ を横切る速度で $C_1 = q_0 / (k_j - k_0)$ であたえられる。停滞発見時刻 τ_c は、(i)と同様にして $k_{i-1}(\tau) > K_c$ の条件から

$$k_o + \frac{q_o}{\ell_{i-1}} (\tau - \tau_1) > k_c$$

$$\therefore \tau_c = \tau_1 + \frac{\ell_{i-1}}{q_o} (k_c - k_o) = \frac{k_j - k_o}{q_o} \cdot y + \frac{k_c - k_o}{q_o} \cdot \ell_{i-1}$$

$$= \frac{1}{q_o} \{ (k_j - k_o)y + (k_c - k_o)\ell_{i-1} \}$$

結局(i)と同様に(4-5)式を代入して

$$\tau_c = \frac{(k_j - k_o)y + (k_c + k_o)\ell_i}{k_o(ak_o + b)} \dots\dots\dots(4-8)$$

具体的な数値計算としては、完全自由速度80Km/h，停滞時の密度を120台Km/車線と仮定すると式(4-5)は

$$v_o = \frac{2}{3} k_o + 80$$

となる。またどの区間でも区間長は一定値 ℓ であるとして式(4-6)および式(4-8)を用いて、 τ_c の最大値T(分)，(yに対する最大値)は

$$\frac{T}{60} = \max \tau_c = \max \left(\max_{k_j y < k_c \ell} \tau_c, \max_{k_j y > k_c \ell} \tau_c \right)$$

$$= \frac{120 - 15k_o}{-\frac{2}{3}k_o^2 + 80k_o} \times \ell$$

これを ℓ について解けば

$$\ell = \frac{-\frac{2}{3}k_o^2 + 80k_o}{120 - 15k_o} \cdot T \dots\dots\dots(4-9)$$

Tをパラメーターとしてこの関係を図-4-10に示す。この図から

- 1) k_o が大きく、容量近くの状態で流れているような場合は、5分以内に発見するためには $\ell=5$ Kmで十分であるが
- 2) 容量の半分程度の交通量($k_o=20$)に対しては5分で検出するためには $\ell=1$ Kmぐらいにまで小さくしないとけない。
- 3) またT=10分以内に発見できればよいのであればそれぞれ上述の2倍程度 ℓ を大きくすると

とができる。
 という結果が得られる。

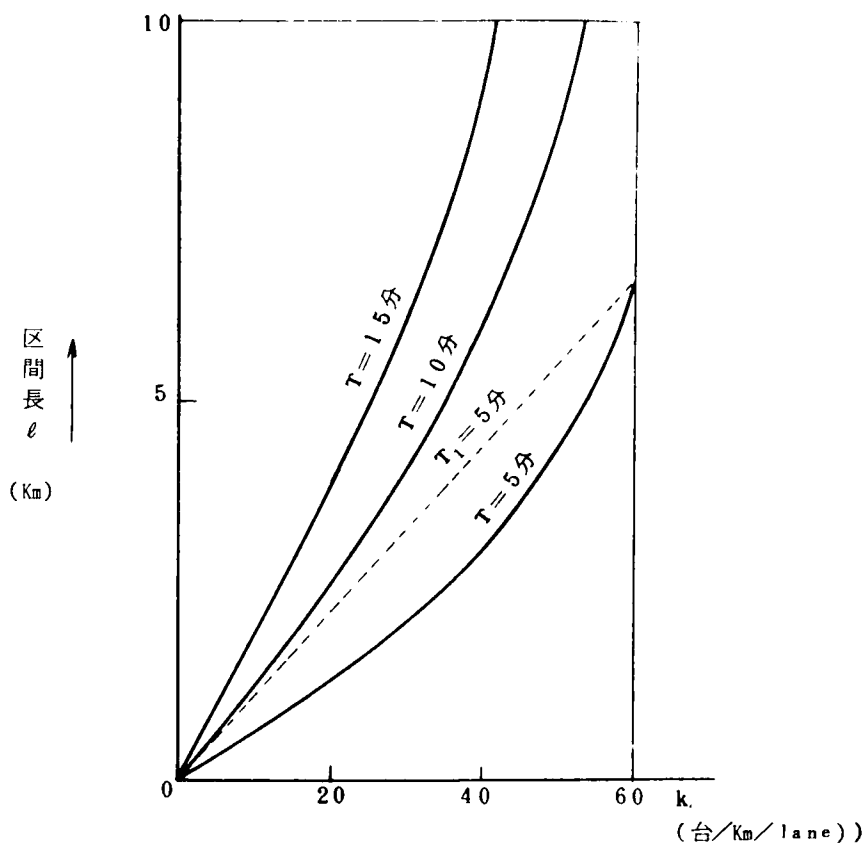


図-4-10 T分以内で事故検出をするための最大区間長

オキュパンシーまたは速度が併用されたときは $k_j y < k_c l$ のときは上流端の観測点におけるオキュパンシーにより式(4-4)の τ_1 時間後に、 $k_j y > k_c l$ のときにはこの区間の区間密度により式(4-6)に示される τ_c 時間後に発見されるのでいく分発見時間は早くなり、 y に対する発見までの経過時間の最大値 T_1 (分)は

$$\frac{T_1}{60} = \max \left\{ k_j y < k_c l \text{ の } \tau_c, k_j y > k_c l \text{ の } \tau_c \right\} = \frac{3}{4k_0} \cdot l$$

と表わされるから、これを l について解いて

$$L = \frac{k_0}{45} \cdot T_1$$

を得る。これは図-4-10中破線で示される直線で示される。

これから容量の半分程度の需要 ($k_0 = 20$ 台/Km/車線) に対して

1) $T_1 = 5$ 分以内で検出するためには $L = 2 \sim 2.5$ Km

2) $T_1 = 10$ 分以内に検出するためには $L = 5$ Km

程度と区間密度だけの場合の約2倍検知器間隔を大きくすることができる。以上の試算から、事故の自動発見のための観測量としては確実性迅速性の両方をあわせて考えるとオキュパンシーと区間密度が好ましく、車両検知器の設置間隔としては2 Km～5 Kmが好ましいといえる。以上が等間隔設置方式の考え方の概要であるが、根拠となる区間密度を直接知ることとはできず、実際には流出入量の差から求めるしか方法はなく、初期値の設定のしかたや観測誤差の累積などの問題がある。

これに対して井上は地方部高速道路における交通制御の基本方針を事故等による渋滞のための高速道路利用旅行時間の増大を防ぐため上流側オフランプからの流出推奨方式を提案し、制御基準として「高速道路上を進行する場合の旅行時間が回路進行の場合の旅行時間を超過する場合に高速道路からのう回を推奨する」という考え方のもとに上述の衝撃波理論を駆使して相似的配置方式を提示している。これは想定する事故としては完全閉鎖状態の事故をとりあげ、この場合の高速道路上の旅行時間を「事故区間への進入時刻に障害物が排除されると仮定したときの旅行時間」に代用し、う回推奨開始の必要時刻までには、前面-Iが上流側の車両検知器を通過して時期を失なわず流出制御開始を始めることができるように車両検知器を設置しようとするもので理論の詳細は文献-(8)に依るものとして、その結論は、インターチェンジ間にはほぼ3；4；5に内分する2地点に必要であるとしている。これを名神高速道路の京都南～茨木間のようにインターチェンジ間隔が比較的長い区間に適用すると車両検知器の間隔は8 Km程度になる。

また昭和47年の高速道路調査会・交通流監視制御研究班の報告によると、名神高速道路吹田地区の交通管制将来計画において車両検知器の好ましい配置計画としては、区間交通量把握のためのインターチェンジ流出部付近のみの現在配置に加えて、自然渋滞頻発区間および事故多発地点にも注目して車両検知器の配置を検討した結果ほぼ5 Km間隔の設置を提案している。

以上、これまでの研究を概観したところでは、地方部高速道路においては、車両検知器の相互間隔としては2.5 Kmから7.5 Km、平均5 Kmを想定して妥当であろうと結論される。このような配置間隔のもとで本節の冒頭で述べた隣接した車両検知器間の計測台数の相互関係を議論していくうえで次に問題となるのは、これら車両検知器の計測時間、より一般的には時間オキュパンシー、平均速度といった交通情報の処理時間長と、処理時間長が定められた場合の単位処理時間毎に計測される交通量の変

動特性である。

これらについて以下次節で検討を行なう。

4-2 計測単位時間と単位時間交通量の変動特性

4-2-1 交通量計測単位時間

前章までの研究においては計測交通量は単に時間単位のレベル変化を対象に議論が続けられてきたが、実際に車両検知器を多数設置して交通管制のような高度な交通運用技術を駆使していくうえで、計測台数をある一定時間毎に処理集計していく必要があることは前節で示したとおりである。結論的には5分間計測ということが一般的である。例えば首都、阪神の両都市高速道路および名神高速道路の交通管制システムにおいて交通情報の処理時間の最少単位は5分間であり、これをベースにして交通管制が実施されているという既成の実例がある。この5分間計測の経験的、理論的根拠は次のとおりである。

交通台数を計測していく目的に応じて種々の交通量が考えられる。長期的には年間変動や季節変動を知るうえで日交通量や平均日交通量が適当であろうし、一日の中での時間変動パターンをつかむには時間交通量が適当であろう。しかし超音波式車両検知器のような高級な車両検知器を多数設置する本来の目的は刻々変動する交通を監視し、制御していく交通管制の基礎情報を得ることであろう。交通監視においてまず第一に知ることは現在運用中の交通の運用状況、すなわち現在の交通のサービス水準がどのようなレベルにあるかということである。ここで注目すべきことは、交通のサービス水準またはサービス交通量という概念を初めて打出した1965年度版 Highway Capacity Manual⁽⁹⁾においても、サービス交通量そのものは時間交通量で与えているが、その基本交通単位としては5分間交通量の観測結果から定まるピーク時係数によってサービス交通量が与えられていることである。ここでいうピーク時係数 (Peak Hour Factor) とは、交通のピーク時に生じる交通量とピーク時間内のある与えられた時間内の最大換算交通量の比として定義されており、通常フリーウェイでは5分間換算交通量とピーク時間交通量との比で求めることとされている。すなわち高速道路のサービス水準を定めるうえで5分間交通量を基本にすることが定められているのである。なお Highway Capacity Manual '65 ではピーク時係数毎に交通容量に近いサービス水準であるC、およびDに対するサービス交通量を定めているが、元になるピーク時係数の選択は図-4-11に示すように主として道路が通過している都市のサイズを示す人口によるとしている。

さて計測単位時間の理論的研究については昭和45年度の高速道路調査会交通流監視制御委員会の統計実験をあげることができる。¹⁰⁾これは車頭時間を指数分布に、車長を正規分布に、また交通量と平均速度を $v \sim k$ の直線の仮定から得られる二次関係に、また同一交通量に対する速度には正規分布を仮定してシミュレートさせたもので上記仮定に基づく具体的入力条件はつぎのとおりである。

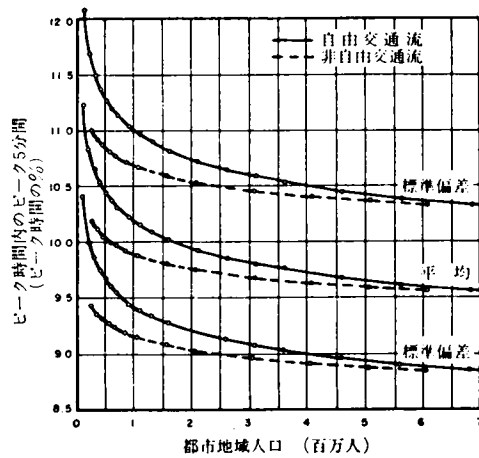


図-4-1-1 人口と交通流の性質に関するピーク現象傾向

(i) 平均交通量 λ と平均速度 v_m との関係

$$\lambda = \frac{k_j}{v_f} \cdot v_m (v_f - v_m)$$

ここに k_j ; 速度と交通密度の直線性を仮定した場合の交通密度の最大値

v_f ; 自由速度

ここで $k_j = 120$ 台/Km/車線, $v_f = 80$ Km/時を与えると

$$v_m = \frac{80 \pm \sqrt{80^2 - \frac{8}{3} \lambda}}{2} \dots\dots\dots (4-11)$$

(ii) 車速の標準偏差

車速の標準偏差は自由走行状態が最大となり、渋滞状態では0となるので昭和44年度の同委員会観測結果をもとに

$$\sigma_v = \frac{10}{65} v_m \dots\dots\dots (4-12)$$

を仮定している。

(iii) 平均車長 L_m と標準偏差

表-2-2に示した結果を参考にして $L_m = 5.0m$ $\sigma = 1.0m$ としている。

(iv) 車頭間隔 (b, sec)

まず平均値 $H_m(sec)$ を $H_m = 3600 \cdot \lambda$ で求め、次に最小車頭間隔を $0.5 sec$ とし、

指数分布で平均値が H_m となるようにするためには、車頭間隔の分布 $f(h)$ は

$$f(h) = \frac{\lambda}{1-0.5\lambda} \cdot e^{-\frac{\lambda}{1-0.5\lambda}(h-0.5)} \quad \dots\dots\dots (4-13)$$

以上の条件のもとに観測単位時間長 T 分ごとに区切り、 T 分間観測値としてシミュレーションの結果をアウトプットしたものを図示したものが図-4-12である。同図から観測単位時間が3分以下ではバラツキが非常に大きくなり、また15分以上になるとほとんど一定の値をとり安定している。この二つの傾向の交点は観測単位5～10分のところにおさまり、また5～10分のところは観測値のバラツキも少なく、交通流の変化にも敏感に反応してゆくことが可能であるから実用上の観測単位時間に採用すれば有効であると結論している。

以上が交通量計測単位時間についての実態の理論的研究の概要であるが、本研究においても以後計測単位時間としては5分間を採用するのが妥当であると考えられる。

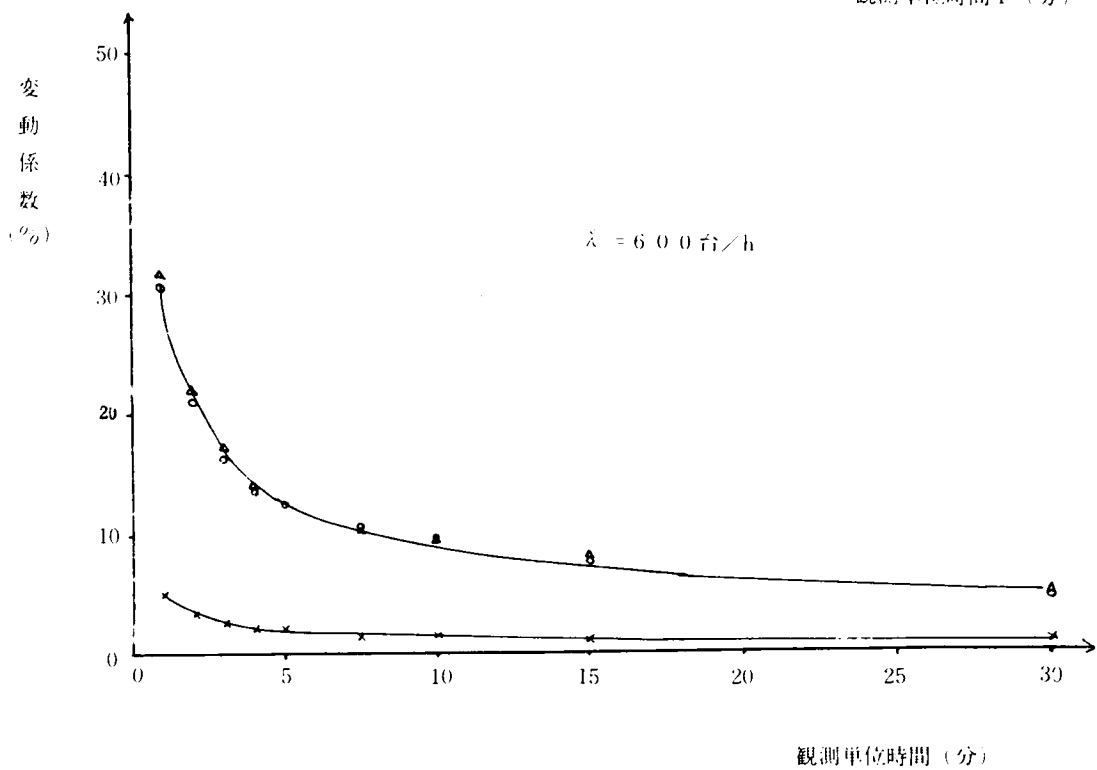
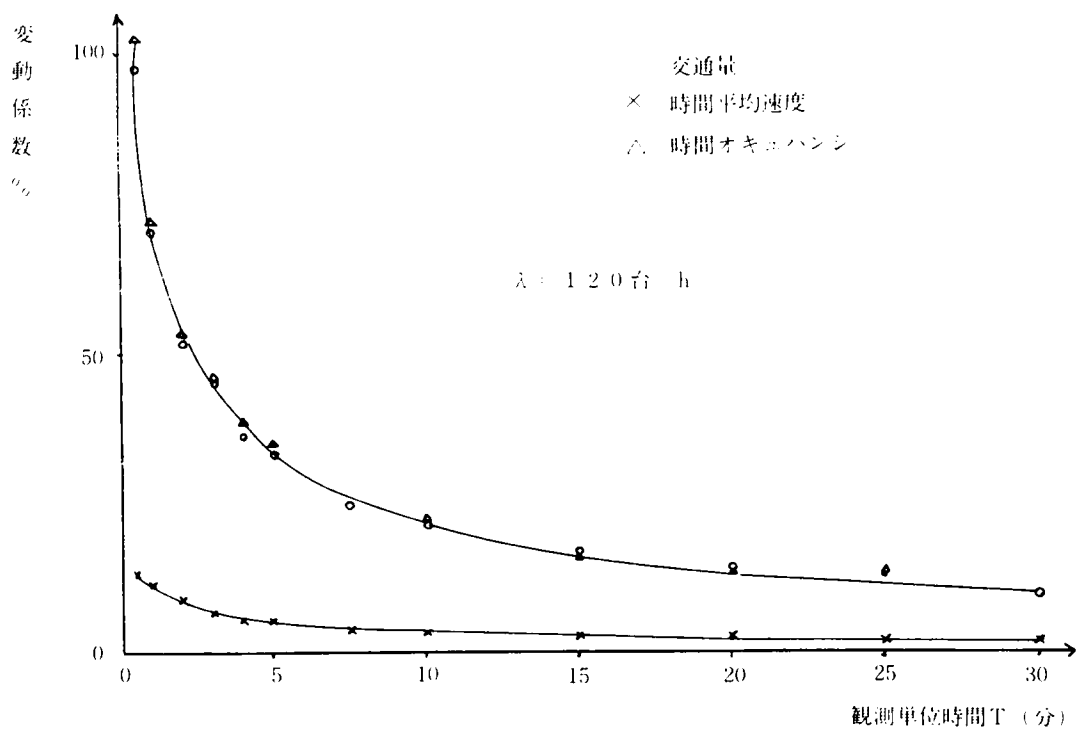


図-4-1-2 変動係数 観測単位時間図 (その1)

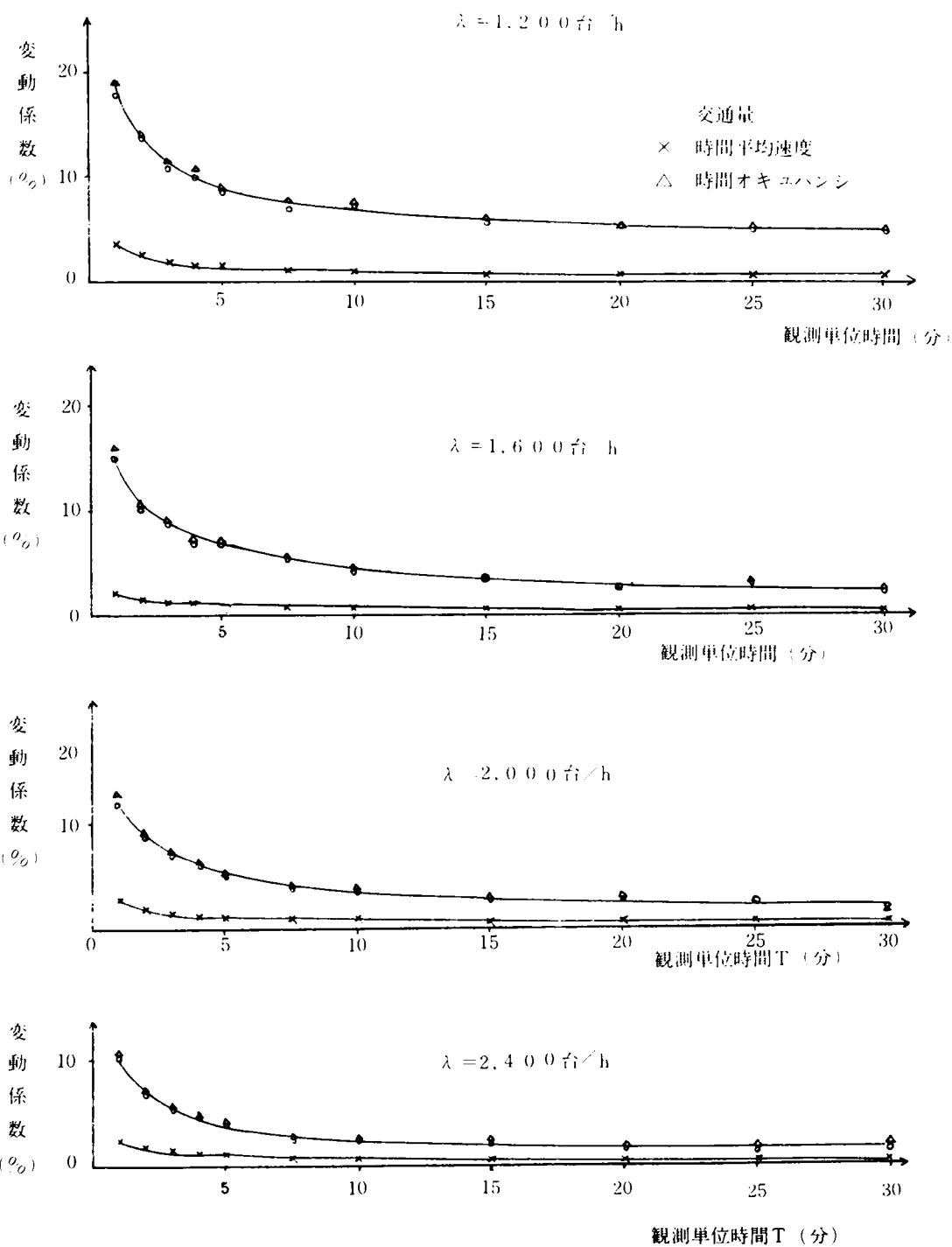


図-4-1-2 変動係数 観測単位時間図 (その2)

4-2-2 単位時間交通量の変動特性

前項で定めた5分間という単位時間の間に交通量がどのように変動するかということであるが、ここでまず明らかにしておくべきことは交通が変動するという表現自体である。交通変動あるいは交通変動パターンという言葉は、長期的にみれば年平均日交通量の経年変動から1日24時間中の時間交通量の変動パターンといったような、いわゆる交通需要の変動に応じて表われる交通量の変化という意味が含まれる場合が多い。しかしここでは交通需要は一定である——平均の到着率は一定であり変動しない——が自動車交通が本質的にもつ偶然性の故に単位時間交通量の実現値も一定値をとるとは限らず、むしろある限度内で確率の変動を伴なうものであり、このような意味で変動特性を追求してみようということをここでは意図している。

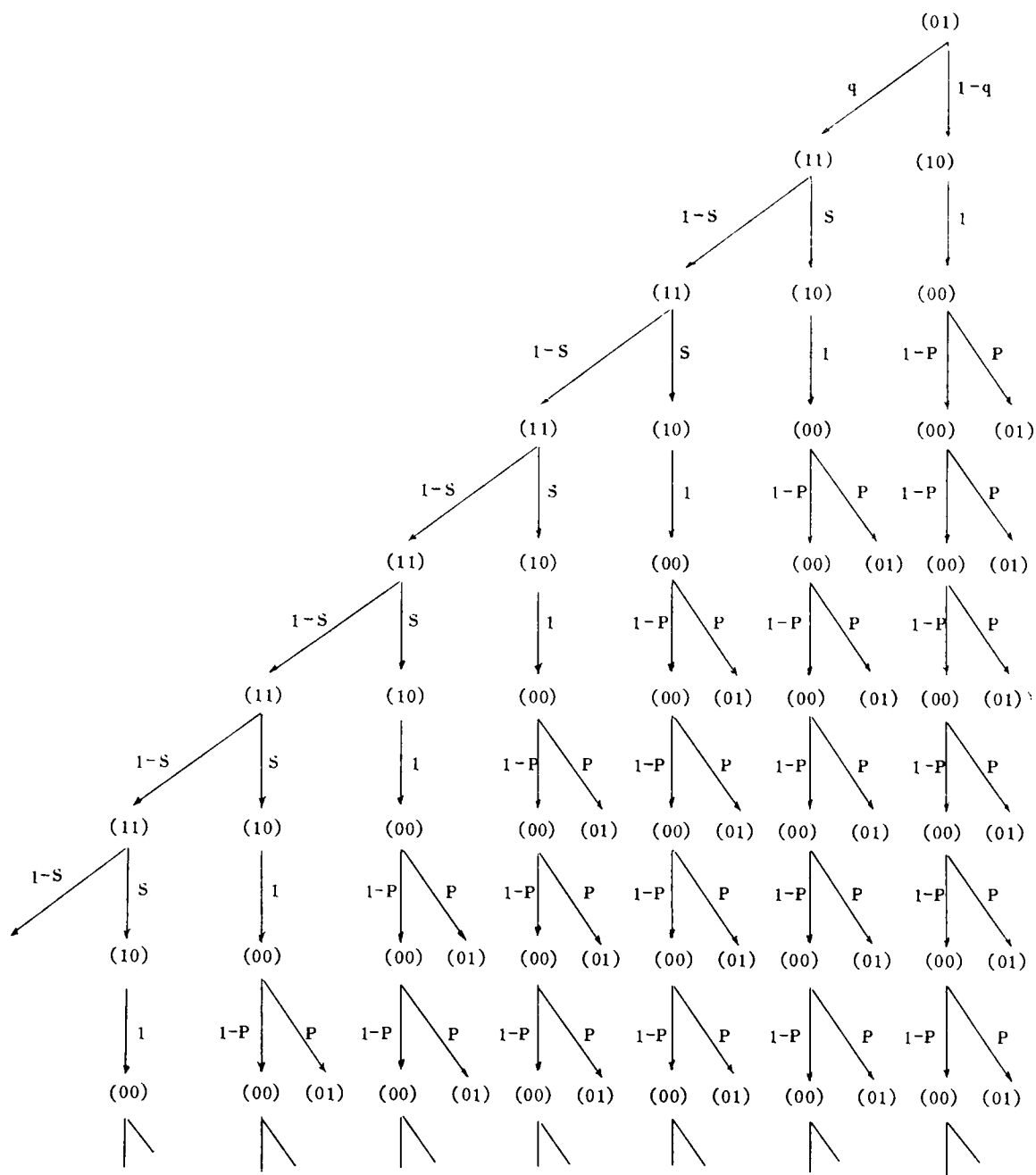
このような平均到着台数が与えられたとき、一定の時間内に到着する台数に応じた確率を求めるという研究は、まさに交通工学の古典的問題であり、ポアソン分布による適合はすでに1933年に逆のぼって John P. Kinzer⁽ⁱ⁾ によつて提案されているほどである。その後 Greenshield⁽ⁱⁱ⁾ や Gerlough⁽ⁱⁱⁱ⁾ によつてポアソン分布の適合性の追求、Haight^(iv), Buckley^(v) による一般的ポアソン過程への発展といった一連のポアソン分布から出発した研究の他にも正規分布、二項分布といった基本的分布函数に基づいた研究、(Jewell^(iv), Buckley^(v)) や待合せ理論 (Miller) を利用した研究も見られる。

ここでは以上のような多数の研究を比較検討しさらに交通量の変動理論を組み立てるのではなく、二章および三章で開発し、実測結果からみて車両検知器の計測過程の理論づけとして妥当であると考えられる本研究の二重マルコフ連鎖に基づいた交通発生モデルを念頭において5分間交通量の変動特性を求めてみようとするものである。そのためには当然式(3-9)で示される確率マトリックス P から式(2-9)に示されるように固有ベクトルを求めて、 P^n を求める必要があるが、式(3-9)のような4次の行列式を解くこと自体が困難であるので、ここでは直接計測台数の分布を求めるかわりに、計測のポイントとなった前期遷移期間の分布、すなわち交通発生モデルにおける車頭間隔の分布について検討を加え、その結果を上述したように自由交通流の領域で適合性の認められているポアソン分布の場合の車頭間隔との関係から単位時間における発生交通の平均と分散を推定してみることとする。

さて計測単位時間が5分間であり、また想定されるスキャンニング周期の範囲が50ms~100msであるので連続する0-1表示の数は2000~3000と非常に大きいので単位時間内のほとんどの0-1表示は初期値に影響を受けないいわゆる定常状態にあるので定常状態を想定して車頭間隔の分布の検討を行なう。

二重マルコフ連鎖における車頭間隔の分布は二連続(0-1)表示の実現値(01)の再帰時間の

図一 4 - 1 3 前期遷移期間 (表示 (0 1)) の発生過程とその発生確率



$$L(0) = 0$$

$$L(1) = 0$$

$$L(2) = 0$$

$$\begin{aligned}
 L(3) &= (1-q) \cdot P && \text{二連続 0 1 表示 3 回目で 1 台計測} \\
 &= (1-q)(1-P)^0 \cdot P && \dots P(\underbrace{01001}_3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L(4) &= (1-q)(1-P)P + qSP \\
 &= (1-q)(1-P)^1 + qSP && \dots P(\underbrace{010001}_4) + P(\underbrace{011001}_4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L(5) &= (1-q)(1-P)^2 \cdot P + qS(1-P) \cdot P + q(1-S)SP \\
 &= (1-q)(1-P)^2 \cdot P + qSP\{(1-P) + (1-S)\} && \dots P(\underbrace{0100001}_5) + P(\underbrace{0110001}_5) + P(\underbrace{0111001}_5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L(6) &= (1-q)(1-P)^3 \cdot P + qS(1-P)^2 \cdot P + q(1-S)S(1-P)P + q(1-S)^2SP \\
 &= (1-q)(1-P)^3 \cdot P + qSP\{(1-P)^2 + (1-P)(1-S) + (1-S)^2\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L(7) &= (1-q)(1-P)^4 \cdot P + qS(1-P)^3 \cdot P + q(1-S)(1-P)^2 \cdot P + q(1-S)(1-P) \cdot P + q(1-S)^3SP \\
 &= (1-q)(1-P)^4 \cdot P + qSP\{(1-P)^3 + (1-P)^2(1-S) + (1-P)(1-S)^2 + (1-S)^3\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L(8) &= (1-q)(1-P)^5 \cdot P + qS(1-P)^4 \cdot P + q(1-S)S(1-P)^3 \cdot P + q(1-S)^2S(1-P) \cdot P + q(1-S)^3S(1-P) \cdot P + q(1-S)^4 \cdot S(1-P) \cdot P \\
 &= (1-q)(1-P)^5 \cdot P + qSP\{(1-P)^4 + (1-P)^3(1-S) + (1-P)^2(1-S)^2 + (1-P)(1-S)^3 + (1-S)^4\}
 \end{aligned}$$

分布にはかならない。まず(01)の平均再帰時間をスキャンニング数によって求めることにする。
 まず定常状態において任意の前期遷移期間を0とし、次のスキャンニング周期によって一つずれて現
 われる二連続(01)表示を1番目、その次の(01)表示を2番目、それ以降3, 4...n番目と
 番号づけを行なう。スタートの前期遷移期間からn番目のスキャンニング周期で初めて次の前期遷移
 期間が得られる確率をL(n)とすれば前期遷移期間の再帰時間の期待値、および分散をE(L)および
 V(L)とすれば

$$\left\{ \begin{array}{l} E(L) = \sum_{n=1}^{\infty} L(n) \cdot n \\ V(L) = E(L^2) + \{E(L)\}^2 = \sum_{n=1}^{\infty} L(n) n^2 - \{E(L)\}^2 \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (4-11)$$

ところでスタートの前期遷移期間から始まって3番目以降8番目までの初めての前期遷移期に到達
 するまでの過程およびその発生確率L(i) (i=0...8)を図示すると図-4-13のようになる。
 図-4-13に示されるL(i)から

$$\left. \begin{array}{l} L(n \leq 2) = 0 \\ L(n = 3) = P(1-q) \\ L(n \geq 4) = P(1-q)(1-P)^{n-3} - qSP \sum_{i=0}^{\infty} (1-P)^{n-4-i} \cdot (1-S)^i \end{array} \right\} \quad (4-12)$$

となることが示される。前期遷移期間の再帰時間の期待値E(L)は次のとおり計算される。

$$\begin{aligned} E(L) &= \sum_{n=1}^{\infty} L(n) \cdot n \\ &= \sum_{n=3}^{\infty} n \cdot P(1-q)(1-P)^{n-3} + \sum_{n=4}^{\infty} n \left\{ PSq \sum_{i=0}^{n-4} (1-P)^{n-4-i} \cdot (1-S)^i \right\} \\ &= \sum_{n=3}^{\infty} nP(1-q)(1-P)^{n-3} + \sum_{n=4}^{\infty} n \cdot PSq \cdot (1-P)^{n-4} + \sum_{n=5}^{\infty} n \cdot PSq(1-P)^{n-5} (1-S) \\ &\quad + \sum_{n=6}^{\infty} nPSq(1-P)^{n-6} (1-S) \dots + \sum_{n=k}^{\infty} n \cdot PSq \cdot (1-P)^{n-k} \cdot (1-S)^{k-4} + \dots\dots \\ &= E_3(L) + E_4(L) + E_5(L) + E_6(L) + \dots + E_k(L) + \dots \end{aligned}$$

ところで

$$\begin{aligned}
 E_g(L) &= 3P(1-q) + 4P(1-q)(1-P) + 5P(1-q)(1-P)^2 + \dots + iP(1-q)(1-P)^{i-3} + \dots \\
 (1-P)E_g(L) &= 3P(1-q)(1-P) + 4P(1-q)(1-P)^2 + \dots + (i-1)P(1-q)(1-P)^{i-3} + \dots \\
 \therefore PE_g(L) &= 2P(1-q) + P(1-q)\{1 + (1-P) + (1-P)^2 + \dots + (1-P)^{i-3} + \dots\} \\
 &= 2P(1-q) + \lim_{i \rightarrow \infty} P(1-q) \cdot \frac{1-(1-P)^{i-3}}{1-(1-P)} = 2P(1-q) + (1-q) \\
 &= (1-q)(2P+1) \\
 \therefore E_g(L) &= (1-q)(2P+1)/P \dots\dots\dots (4-13)
 \end{aligned}$$

同様に

$$\begin{aligned}
 E_k(L) &= \sum_{n=k}^{\infty} n \cdot PS_q (1-P)^{n-k} \cdot (1-S)^{k-4} \\
 &= PS_q (1-S)^{k-4} \{k + (k+1)(1-P) + (k+2)(1-P)^2 + \dots + (k+i)(1-P)^{i-1} + \dots\} \\
 &= \{PS_q (1-S)^{k-4} (k-1) + S_q (1-S)^{k-4}\} / P \dots\dots\dots (4-14)
 \end{aligned}$$

したがって

$$E(L) = (1-q)(2P+1)/P + \sum_{k=4}^{\infty} \{PS_q (1-S)^{k-4} (k-1) + S_q (1-S)^{k-4}\} / P$$

ところで

$$\begin{aligned}
 \sum_{k=4}^{\infty} \{PS_q (1-S)^{k-4} (k-1)\} &= (2PS_q + Pq)/S \dots\dots\dots (4-15) \\
 - \\
 \text{一方 } \sum_{k=4}^{\infty} S_q (1-S)^{k-4} &= q
 \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned}
E(L) &= (1-q)(2P+1)/P + \{(2PSq + Pq)/S + q\}/P \\
&= \frac{1}{P} \left\{ 2P + 1 - 2Pq - q + 2Pq + \frac{Pq}{S} + q \right\} \\
&= \frac{1}{P} (2P + 1 + Pq/S)
\end{aligned}$$

式(2-23)より

$$\begin{aligned}
E(L) &= \frac{1}{\frac{v}{1-Q-v}} \cdot \left(\frac{2v}{1-Q-v} + 1 + \frac{v}{1-Q-v} \cdot \frac{Q-v}{v} S/S \right) \\
&= \frac{1-Q-v}{v} \cdot \frac{2v + 1-Q-v + Q-v}{1-Q-v} \\
&= \frac{1}{v} \dots\dots\dots (4-16)
\end{aligned}$$

以上は当然の結果である。ただし同様の過程で再帰時間Lの分散を求める。

$$V(L) = E(E^2) - \{E(L)\}^2$$

であるから $E(L^2)$ を求める

$$\begin{aligned}
E(L^2) &= \sum_{n=1}^{\infty} L(n) \cdot n^2 \\
&= \sum_{n=3}^{\infty} n^2 P(1-q)(1-P)^{n-3} + \sum_{n=4}^{\infty} n^2 \left\{ PSq \sum_{i=0}^{n-4} (1-P)^{n-4-i} \cdot (1-S)^i \right\} \\
&= \sum_{n=3}^{\infty} n^2 P(1-q)(1-P)^{n-3} + \sum_{n=4}^{\infty} n^2 PSq (1-P)^{n-4} + \sum_{n=5}^{\infty} n^2 PSq (1-P)^{n-5} (1-S) \\
&\quad + \sum_{n=6}^{\infty} n^2 PSq (1-P)^{n-6} \cdot (1-S)^2 + \dots + \sum_{n=k}^{\infty} n^2 PSq (1-P)^{n-k} \cdot (1-S)^{k-4} + \dots \\
&= V_3(L) + V_4(L) + V_5(L) + V_6(L) + \dots + V_k(L) + \dots
\end{aligned}$$

ところで期待値の場合と同様に

$$V_3(L) = 3^2 P(1-q) + 4^2 P(1-q)(1-P) + 5^2 P(1-q)(1-P)^2 + \dots + i^2 P(1-q)(1-P)^{i-3} + \dots$$

$$(1-P)V_3(L) = 3^2 P(1-q)(1-P) + 4^2 P(1-q)(1-P)^2 + \dots + (i-1)^2 P(1-q)(1-P)^{i-3} + \dots$$

$$\therefore PV_3(L) = 3^2 P(1-q) + (2 \cdot 3 + 1) \cdot P(1-q)(1-P) + (2 \cdot 4 + 1) P(1-q)(1-P)^2 + \dots$$

$$+ \{ 2(i-1) + 1 \} P(1-q)(1-P)^{i-3} + \dots$$

$$= 3^2 P(1-q) + 2(1-P) \{ 3P(1-q) + 4P(1-q)(1-P) + \dots + (i-1)P(1-q)(1-P)^{i-4} + \dots \}$$

$$+ P(1-q)(1-P) \{ 1 + (1-P) + (1-P)^2 + \dots + (1-P)^{i-4} + \dots \}$$

式(4-13)より

$$= 3^2 P(1-q) + 2(1-P)(1-q)(2P+1) \cdot \frac{1}{P} + P(1-q)(1-P) \cdot \frac{1}{P}$$

$$= 3^2 P(1-q) + 2(1-P)(1-q)(2P+1) \cdot \frac{1}{P} + (1-q)(1-P) \cdot$$

$$\therefore V_3(L) = \left\{ 3^2 P(1-q) + 2(1-P)(1-q)(2P+1) \cdot \frac{1}{P} + (1-q)(1-P) \right\} / P$$

同様にして

$$V_k(L) = \sum_{n=k}^{\infty} n P S_q(1-P)^{n-k} \cdot (1-S)^{k-4}$$

$$= P S_q(1-S)^{k-4} \cdot \left\{ k^2 + (k+1)^2(1-P) + (k+2)^2(1-P)^2 \dots + (k+i)^2(1-P)^{i-1} + \dots \right\}$$

$$= S_q(1-S)^{k-4} \cdot \left(k^2 + \frac{1-P}{P} \right) + 2(1-P) \left\{ P S_q(1-S)^{k-4} \cdot (k-1) + S_q(1-S)^{k-4} \right\} / P^2$$

$$= S_q(1-S)^{k-4} \left\{ \frac{1-P}{P} + \frac{2(1-P)}{P^2} \right\}$$

$$+ 2(1-P) \frac{S_q}{P} \cdot (1-S)^{k-4} \cdot (k-1) \\ + S_q(1-S)^{k-4} \cdot k^2$$

$$\begin{aligned}
\therefore E(L^2) &= V_3(L) + \sum_{k=4}^{\infty} V_k(L) \\
&= \left\{ 3^2 P(1-q) + 2(1-P)(1-q)(2P+1) \cdot \frac{1}{P} + (1-q)(1-P) \right\} \cdot \frac{1}{P} \cdot \\
&\quad + S_q \left\{ \frac{1-P}{P} + \frac{2(1-P)}{P^2} \right\} \cdot \sum_{k=4}^{\infty} (1-S)^{k-4} \\
&\quad + 2(1-P) \cdot \frac{S_q}{P} \cdot \sum_{k=4}^{\infty} (1-S)^{k-4} \cdot (k-1) \\
&\quad + S_q \sum_{k=4}^{\infty} (1-S)^{k-4} \cdot k^2
\end{aligned}$$

$$\text{ところで } \sum_{k=4}^{\infty} (1-S)^{k-4} (k-1) = \left(\frac{2}{S} + \frac{1}{S^2} \right)$$

$$\sum_{k=4}^{\infty} (1-S)^{k-4} \cdot k^2 = \frac{9}{S} + \frac{5}{S^2} + \frac{2}{S^3}$$

$$\begin{aligned}
\therefore E(L^2) &= \left\{ 3^2 P(1-P) + 2(1-P)(1-q)(2P+1) \cdot \frac{1}{P} + (1-q)(1-P) \right\} \cdot \frac{1}{P} \\
&\quad + q \left\{ \frac{1-P}{P} + \frac{2(1-P)}{P^2} \right\} \\
&\quad + 2(1-P) \cdot \frac{S_q}{P} \cdot \left(\frac{2}{S} + \frac{1}{S^2} \right) \\
&\quad + S_q \cdot \left(\frac{9}{S} + \frac{5}{S^2} + \frac{2}{S^3} \right) \\
&= \left\{ 9P(1-P) + (1-P)(1-q) \left(5 + \frac{2}{P} \right) \right\} \cdot \frac{1}{P} \\
&\quad + \frac{q(1-P)}{P} \left(\frac{5}{S} + \frac{2}{P} + \frac{2}{S} \right) \\
&\quad + q \left(\frac{9}{S} + \frac{5}{S^2} + \frac{2}{S^3} \right)
\end{aligned}$$

$$\therefore V(L) = E(L^2) - \{ E(L) \}^2$$

$$\begin{aligned}
&= \left\{ 9P(1-P) + (1-P)(1-q) \left(5 + \frac{2}{P} \right) \right\} \frac{1}{P} \\
&\quad + \frac{q(1-P)}{P} \left(5 + \frac{2}{P} + \frac{2}{S} \right) + q \left(9 + \frac{5}{S} + \frac{2}{S^2} \right) - \frac{1}{v^2} \\
&= 9(1-P) + (1-P)(1-q) \left(5 + \frac{2}{P} \right) \cdot \frac{1}{P} + \frac{q(1-P)}{P} \left(5 + \frac{2}{P} + \frac{2}{S} \right) + q \left(9 + \frac{5}{S} + \frac{2}{S^2} \right) - \frac{1}{v^2} \\
&= 9(1-P) + (1-P) \left(5 + \frac{2}{P} \right) \cdot \frac{1}{P} + \frac{q(1-P) \cdot 2}{PS} + q \left(9 + \frac{5}{S} + \frac{2}{S^2} \right) - \frac{1}{v^2} \cdots \cdots (4-17)
\end{aligned}$$

さて以上で式(4-16)および(4-17)で二重マルコフ連鎖における車頭間隔の期待値および分散がスキューニング周期の単位で求められたことになったが、車両計測上で問題となるのは車頭間隔の分布ではなく単位時間内に発生する前期遷移期間の発生分布である。ここで本項の冒頭で述べたポアソン分布の場合について考察すると、 v はその定義からスキューニング周期内に到着する平均台数と考えられ、二重マルコフ過程を離れて完全な独立到着を仮定すれば、スキューニング周期内に到着する車両の台数はポアソン分布が成りたちその期待値と分散をそれぞれ $E(N)$ 、 $V(N)$ とすれば両者はいずれもポアソン分布の性質からともに v である。一方ポアソン分布が成立する自由流においては、車頭間隔の分布は、平均車頭間隔を g とすれば

$$f(\ell) = \frac{1}{g} e^{-\left(\frac{\ell}{g}\right)} \cdots \cdots (4-18)$$

なる指数分布となり、この場合の期待値と分散を $E(L)$ 、 $V(L)$ とすればそれぞれ

$$E(L) = g, \quad V(L) = g^2 \cdots \cdots (4-19)$$

となる。一方 g をスキューニング周期単位で与えるものとすればスキューニング周期内に到着する平均台数 v との関係は

$$v = \frac{1}{g}$$

が成り立つから(4-19)式は

$$E(L) = \frac{1}{v}, \quad V(L) = \frac{1}{v^2}$$

と変形され、結局自由交通流においては、車頭間隔分布の期待値と分散から計測台数分布の期待値と分散は次式によって求められることがわかる。

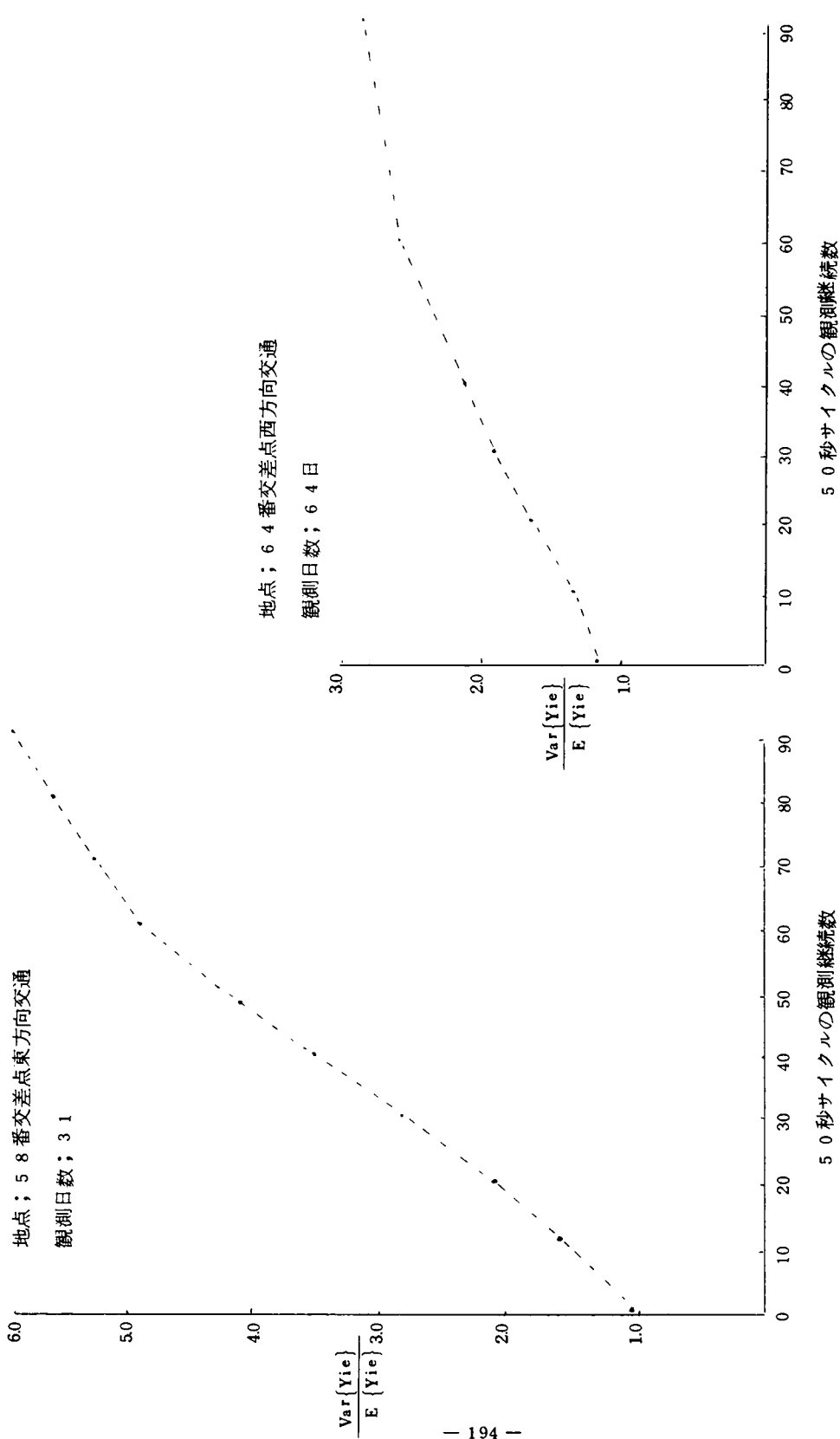
$$\left. \begin{aligned} E(N) &= 1/E(L), \\ V(N) &= 1/\sqrt{V(L)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-20)$$

二重マルコフ過程を用いた交通発生モデルにおいても上式における期待値に関する式が成り立つことは(4-16)式から当然である。ここで分散についての関係も上式から求められるものとすれば台数計測における分散～平均比 I は式(4-17)から

$$I = v / \sqrt{9(1-P) + (1-P)\left(5 + \frac{2}{P}\right) \cdot \frac{1}{P} + \frac{q(1-P) \cdot 2}{PS} + q\left(9 + \frac{5}{S} + \frac{2}{S^2}\right) - \frac{1}{v^2}} \dots\dots (4-21)$$

で求められる。

I の特性については多くの研究が行われてきた。^(V)Miller は地方部二車線道路の車群形成過程を研究し、I の値は 1 と車群の大きさを示す分布函数の二次モーメントの値との間のある値をとるとし、また、Buckley は観測時間帯毎に係数の変動するポアソン分布によって計測分布の適合を試みたが、結果として I の値は常に 1 より大となることを示している。一方 Gordon A. Sparks^(V) はサンノゼの広域制御システムから得た観測資料をもとに分散～平均比が図-4-14 に示されるような傾向を示すとしている。図において Y の添字 i は観測時間帯を、ℓ は観測日を示し、Y は観測台数を示している。図から 5 分間計測の場合の I の値は 1.3 程度であることが示される。



図一四一四 サンノゼ広域制御における分散一平均比と観測継続時間の関係

ここで表-2-6で示した一車線交通流における計測過程モデルと同一条件のもとでIの値を計算すると下表のとおりになる。ここで計算は実施例と最適スキューニングを勘案して50ms, 100msおよび150msの三ケースについて行なっている。計算例を示すと次のとおりである。参考す

表-4-1 交通発生モデルにおけるIの計算結果

交通量	500台/時			1000台/時			1500台/時		
周 期	50ms	100ms	150ms	50ms	100ms	150ms	50ms	100ms	150ms
v	0.00694	0.01389	0.02083	0.01389	0.02778	0.04167	0.02083	0.04167	0.06250
Q	0.0450	0.0450	0.0450	0.0900	0.0900	0.0900	0.1300	0.1300	0.1300
S	0.0460	0.1140	0.2210	0.046	0.1140	0.2210	0.049	0.123	0.245
V(L)	18713.51	4639.86	1975.68	4302.72	1010.58	423.29	1804.99	404.79	162.26
$1/\sqrt{V(L)}$	0.00731	0.01468	0.02250	0.01525	0.03146	0.04861	0.02354	0.04970	0.07850
I	1.05	1.06	1.08	1.10	1.13	1.16	1.13	1.19	1.25

る表は表-2-7(その3~車線交通量1500台/時、対象スキューニング周期は150ms)である。

計算例

$$v = 0.06250 \quad Q = 0.13000 \quad S = 0.245$$

$$P = \frac{0.06250}{1 - 0.130 - 0.0625} = \frac{0.0625}{0.8075} = 0.07740$$

$$q = \frac{0.1300 - 0.0625}{0.0625} \times 0.245 = 0.2646$$

$$9(1-P) = 9 \times 0.9226 = 8.30$$

$$\begin{aligned} (1-P)(5+2/P)/P &= 0.9226 \times (5+2.584)/0.0774 \\ &= 0.9226 \times 30.84/0.0774 = 367.61 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q(1-P) \cdot 2/P \cdot S &= 0.2646 \times 0.9226 \times 2/0.0774 \times 0.245 \\ &= 0.48824/0.01896 = 25.75 \end{aligned}$$

$$q(9+5/S+2/S^2) = 0.2646 \times (9+2.041+33.32) \\ = 0.2646 \times 62.73 = 16.60$$

$$-1/v^2 = -1/0.06250^2 = 256.00$$

$$\therefore V(L) = 16.226 \quad \sqrt{V(L)} = 1.2738$$

$$1/\sqrt{V(L)} = 0.07850$$

$$\therefore V(n)/E(n) = 0.07850/0.06250 = 1.25$$

表-4-1の結果をスキヤニング周期をパラメーターとして、車線交通量と分散-平均比Iの関係に示せば図4-15のとおりとなる。Iは交通量が増加するにつれ、またスキヤニング周期が増加するにつれて増加することが示される。これは上述した諸研究の結果からみて妥当なことと考えられる。すなわち交通量が増加するにつれてIも増加することは、Buckley や Sparks の研究からも明らかであり、またスキヤニング周期が長くなるにつれ、スキヤニング周期内の平均到着台数も大きくなるからである。

さて二連続0-1表示において、交通量計測の基本となる前期遷移期間の発生に対して1を与えそれ以外には0が与えられる確率変数 N_i を考える。ここでiは計測開始を0としそれ以後第1番目のスキヤニング周期に1、i番目のスキヤニング周期にiとするスキヤニング番号である。計測開始のスキヤニング周期を0としているので1以上のi二連続0-1表示を対応させることができる。これまでの計算結果から N_i はいずれも平均 v 、分散 $I\tau \cdot v$ を持つ確率変数である。ここに τ はスキヤニング周期を示す。ここで $tV = N_1 + N_2 + \dots N_i + \dots N_n$ とおけば中心極限定理によって tV の漸近分布は平均 nv 、分散 $nI\tau v$ をもつ正規分布となる。ここに tV の添字 t は計測時間を示し本節第一項で示されたように計測単位時間として5分間を考えた場合でも、 $\tau = 150ms$ に対し

$$n = \frac{5 \times 60 \times 1000}{150} = 2000$$

となり n は十分大である。したがって交通需要に大きな変動がない場合においてある5分間計測交通量が V_1 であったとすると次の5分間計測交通量 V_0 のとり得る範囲は有意水準を α とすれば

$$V_1 - 2Z_{\alpha} \sqrt{I\tau(V_1)V_1} \leq V_0 \leq V_1 + 2Z_{\alpha} \sqrt{I\tau(V_1)V_1} \dots (4-22)$$

と考えるのが妥当であろう。ここで Z_{α} は

$$P(Z \geq Z_{\alpha}) = \int_{Z_{\alpha}}^{\infty} \phi(Z) dZ = \alpha$$

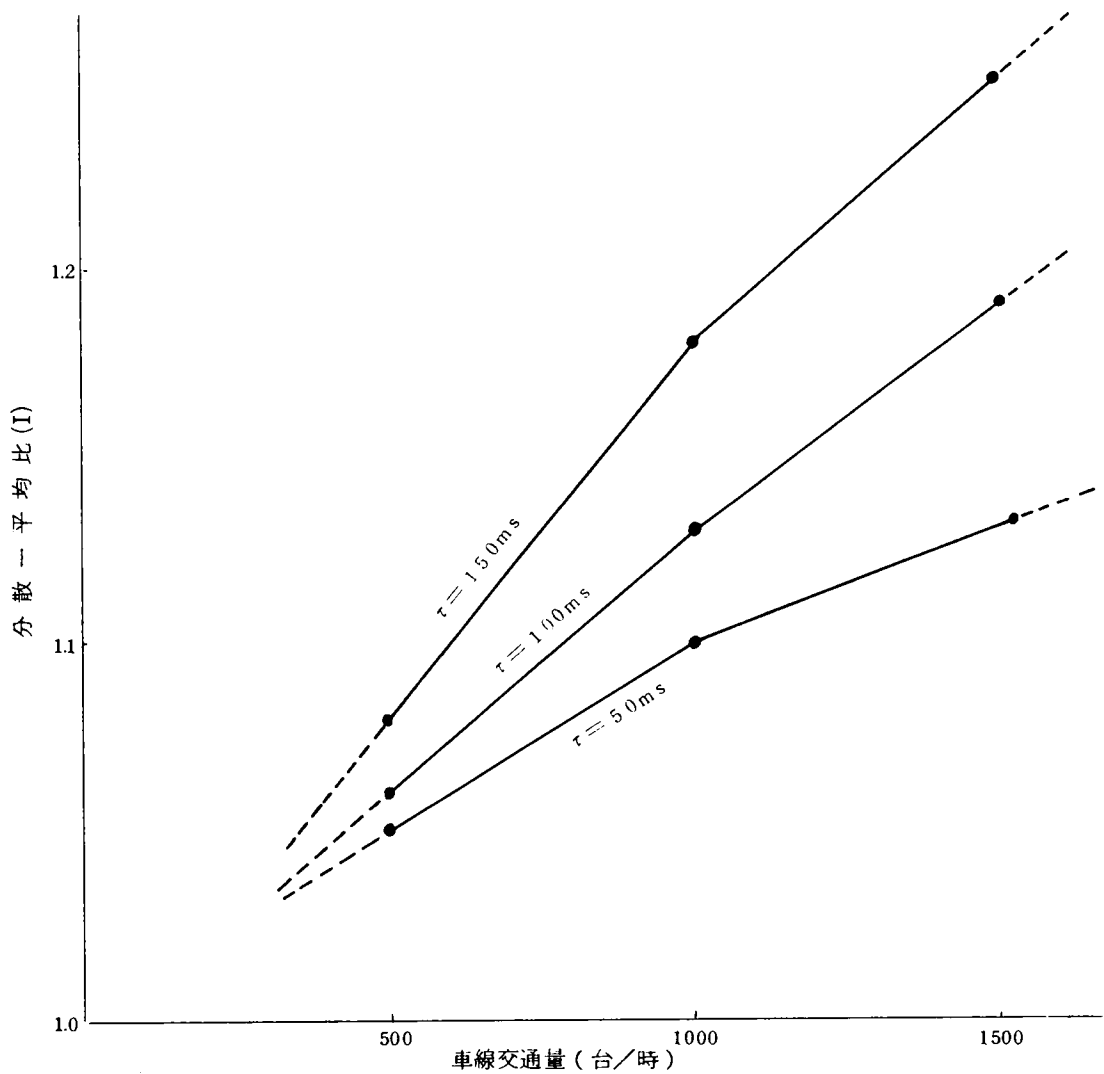


図-4-15 分散一平均比と交通量およびスキニング周期との関係

で Z は標準正規変数を表わし

$$\phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-Z^2/2}, \quad -\infty < Z < \infty$$

である。逆に V_0 が式 (4-22) を満足しない場合すなわち

$$V_0 < V_1 - 2Z\frac{\alpha}{2} I\tau \cdot V_1$$

$$\text{または } V_0 > V_1 + 2Z\frac{\alpha}{2} I\tau \cdot V_1$$

の場合は、前回の 5 分間と比べて今回の 5 分間における交通量には異常な交通需要の増減または交通流に支障があったと考えてさしつかえないであろう。

4-3 2 地点間相互の計測交通台数の関係と配置方式の評価

4-3-1 平常状態における計測交通量の伝播

二重マルコフ連鎖に基づく交通発生モデルにおける5分間計測交通量の確率的特性は前節で求められた。次に問題とすべきことは本章第一節で示された種々の車両検知器配置方法を検討していくうえで必要な2地点間の計測交通台数の相互関係が、5分間計測交通量の確率分布を基礎にした場合どのようなものであるかということである。この種の問題は時間空間平面上で各車両の走行軌跡または車両の存在する確率を追跡するという方向で種々の研究が行なわれている。実測面で多大の成果が得られたのはニューヨークのリンカントネル^(vi)で、500フィート毎に設置されたフォトセルタイプの高性能車両検知器を駆使して一車線交通流の車両の走行軌跡を時間空間平面上で記録し、渋滞発生時におけるショックウェーブの伝播状況を調べている。理論的な面では、Makigani、Newell、Rothery^(vii)によって時間—空間平面に加えて車両台数を示す第三の軸を設定し、立体空間内に立体曲面として示される交通流を曲面の特性と交通流の特性の関連づけという観点のもとで研究がなされているが定性的な範囲に止まっている。

一方Ohono^(viii)は第三の軸として速度を想定し、微少速度範囲内にある車群については、平行線として時間空間平面上に記録されるという概念に基づいて、上下流における交通の時間的、空間的分布すなわち交通量と空間密度の関連づけを試みている。ここでは5分間計測交通量を基本単位とした交通の特性から交通特性の伝播状況を追跡しようと試みるものであり、さらに空間密度の実測ということは、長大ループを用いた場合等特殊な場合を除いては実際上不可能であるという点からOhonoのモデルにおける空間分布的要素は考慮しないが、速度分布を第三の軸とした立体モデルを想定し、5分間計測交通量の下流側車両検知器への伝播について検討を行なうものとする。

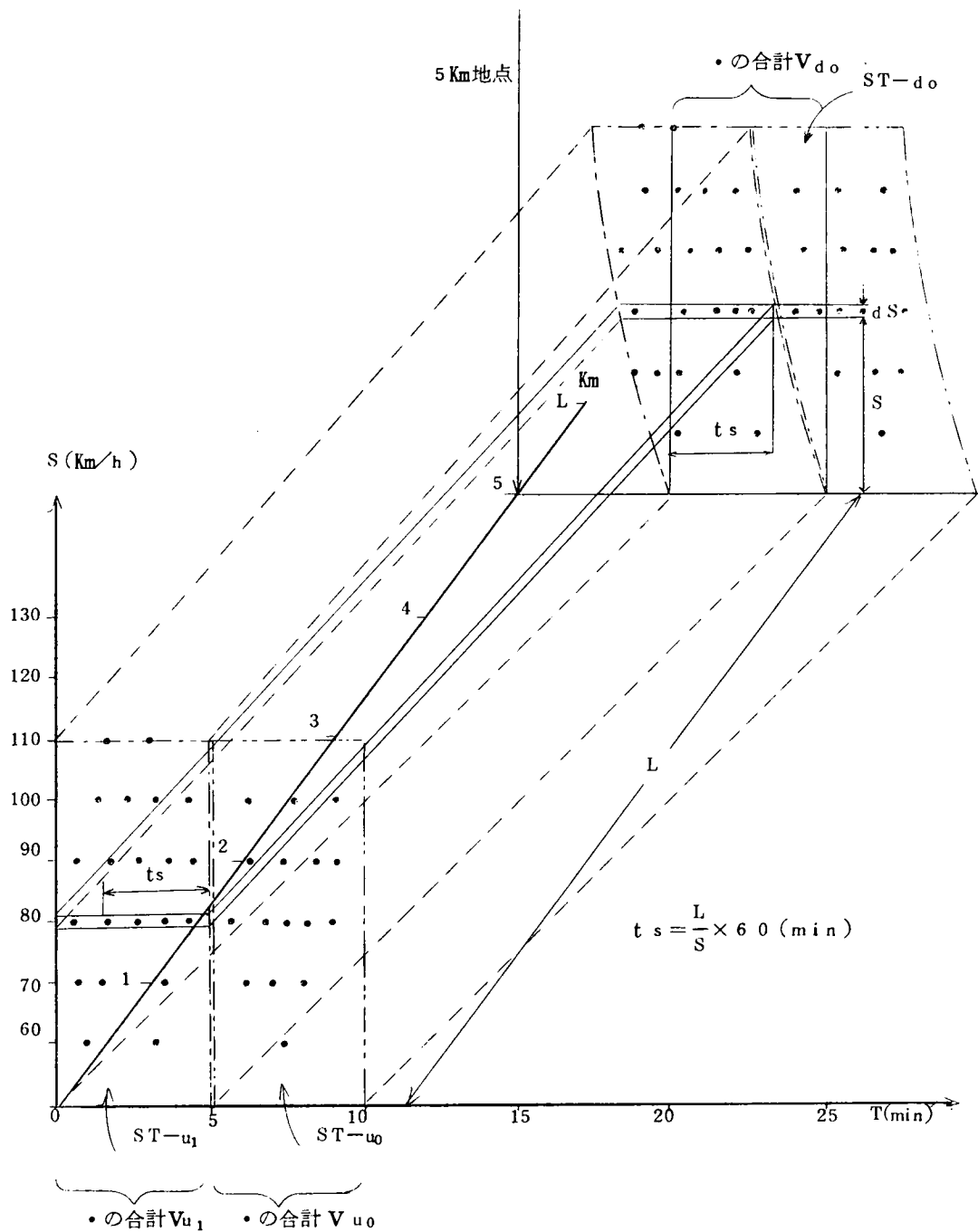
いま2つの車両検知器が距離 L (km) の間隔をおいて設置されているものとし、現在の交通需要の変動はないものとする。また現在の交通流の速度分布の確率密度曲線を $f(s)$ とする。交通需要に変動がない正常交通の仮定のもとでは、両検知器ともにその5分間計測交通量は二重マルコフ連鎖に基づく交通発生モデルにおいては、式(4-22)で示されるような正規分布をもつ確率変数としてとりあつかう必要がある。ここで両車両検知器の5分間計測対象の交通量として次の確率変数を定義づける。

V_{u1} : 上流側車両検知器の5分間前の計測対象交通量

V_{u0} : 上流側車両検知器の現時点の計測対象交通量

V_{d0} : 下流側車両検知器の "

当然のことながら V_{u1} と V_{u0} の間には式(4-22)の関係が成立しているものとする。いまこの関係を満足している範囲内で、 V_{u1} と V_{u0} の実現値をそれぞれ u_1 と u_0 とする。さら



図一 4 - 1 6 交通伝播の三次元モデル図

に速度分布 $f(S)$ のうち $S = S$ なる車の群のみを考えれば図-4-16 に示すようにこの車群に入る車両は全て両検知器間を L/S 時間で走行するから $t_s = 60L/S$ (分) 遅れて下流側車両検知器に到達する。したがって速度範囲 $(S, S + dS)$ をもつ交通のうち上流側車両検知器で 5 分間前に計測された交通量のうち後半の t_s 分に通過したものが下流側車両検知器の現時点の計測対象交通量となる。その期待値は、

$$U_{u1} \frac{t_s}{5} f(S) dS = U_{u1} \cdot \frac{60L}{5S} f(S) dS = U_{u1} \frac{12L}{S} f(S) dS$$

同様に現時点での上流側車両検知器の計測対象交通量で、下流側車両検知器の計測対象交通量は期待値として

$$U_{u0} \left(\frac{5 - t_s}{5} \right) f(S) dS = U_{u0} \left(1 - \frac{12L}{5S} \right) f(S) dS$$

したがって V_{d0} の期待値と分散をそれぞれ $E(V_{d0})$ および $V(V_{d0})$ とすれば

$$\begin{aligned} E(V_{d0}) &= \int_{S_{min}}^{S_{max}} \left\{ U_{u1} \frac{12L}{S} + U_{u0} \left(1 - \frac{12L}{S} \right) \right\} f(S) dS \\ V(V_{d0}) &= \int_{S_{min}}^{S_{max}} \left\{ I_{\tau}(U_{u1}) \cdot U_{u1} \frac{12L}{S} + I_{\tau}(U_{u0}) \cdot U_{u0} \left(1 - \frac{12L}{S} \right) \right\} \\ &\quad f(S) dS \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4-23)$$

実際の計算では、図-2-16 に示されるように 5 km/h ビッチ程度にクラス分けされた速度範囲に入る速度の発生頻度をもとにして計算するのが容易であるので式(4-23)の S についての積分は、 i 番目の速度範囲の中央値を S_i (km/h)、任意の車両が i 番目の速度範囲に入る確率を $P(S_i)$ とすれば次のように書き換えられる。

$$\begin{aligned} E(V_{d0}) &= \sum_{i=1}^N \left\{ U_{u1} \frac{12L}{S_i} + U_{u0} \left(1 - \frac{12L}{S_i} \right) \right\} P(S_i) \\ V(V_{d0}) &= \sum_{i=1}^N \left\{ I_{\tau}(U_{u1}) U_{u1} \frac{12L}{S_i} + I_{\tau}(U_{u0}) \cdot U_{u0} \left(1 - \frac{12L}{S_i} \right) \right\} P(S_i) \\ &\simeq I_{\tau} \{ E(V_{d0}) \} \cdot E(V_{d0}) \quad \dots\dots\dots (4-24) \end{aligned}$$

したがって有意水準 α の V_{d0} の発生交通量としては

$$\left[E(V_{d0}) - 2Z \frac{\alpha}{2} \sqrt{V(V_{d0})}, E(V_{d0}) + 2Z \frac{\alpha}{2} \sqrt{V(V_{d0})} \right] \dots\dots\dots (4-25)$$

の範囲にあることがわかる。すなわち図-4-16に示されるように上流側車両検知器で計測された現時点および5分前の交通量が u_{u0} および u_{u1} と確定値として示されたとしても、 u_{u0} および u_{u1} が図で $L=0$ における $S-T$ 平面上の点の総計であり、点の分布が正規分布に従っている以上、下流側の $S-T$ 平面($ST-d0$)に示されるような分割を考えると、下流側車両検知器の計測結果は式(4-25)のような範囲を想定せざるをえなくなってくるのである。さらに図-3-25に示されるような二車線道路における異常通行による計測誤差も含めた計測の誤差を考えると V_{d0} の値としては

$$\left[\left\{ E(V_{d0}) - 2 \cdot Z \frac{\alpha}{2} \sqrt{V(V_{d0})} \right\} (1 - r_-), \left\{ E(V_{d0}) + 2Z \frac{\alpha}{2} \sqrt{V(V_{d0})} \right\} (1 + r_+) \right] \dots\dots\dots (4-26)$$

を想定するのが妥当であろう。ここに r_+ および r_- は想定される異常通行状態に対するプラス側、およびマイナス側の誤差率で図-3-25から求められる値である。ここで車両検知器の間隔が5Km以上であったり、速度が60Km/h以下の場合はさらにもう一つ計測単位時間をさかのぼって考える必要があるが、ここでは前節で示されたように2Kmから5Kmの範囲に車両検知器を設置した場合を想定し、さらに図-2-16に示されるような速度分布の範囲を考えるならば(4-26)式で十分下流側車両検知器の計測交通量を推定することができると考えられよう。

4-3-2 異常通行の伝播

今、図-4-17において任意の速度範囲 S_i の時間-距離平面上で考えて任意の点で事故等の異常事態が発生したものと想定する。異常事態によりその地点での疎通能力は低下し上流側検知器で計測された交通量よりも少ない交通量が下流側へ伝播されていく。もし上流側で計測された交通量が異常事態発生地点の容量よりも小さい場合は、下流側検知器でその異常を発見することはほとんど不可能であろう。したがってここで問題とするのは異常発生地点での容量が現在の交通需要よりも小さい場合について検討を行なっていく。

この場合異常事態発生地点より上流側には渋滞が発生し発生の時刻と地点によっては上流側検知器によってオキュパンシーの急激な増加や交通量の低下により、下流側検知器よりも早く異常事態の発

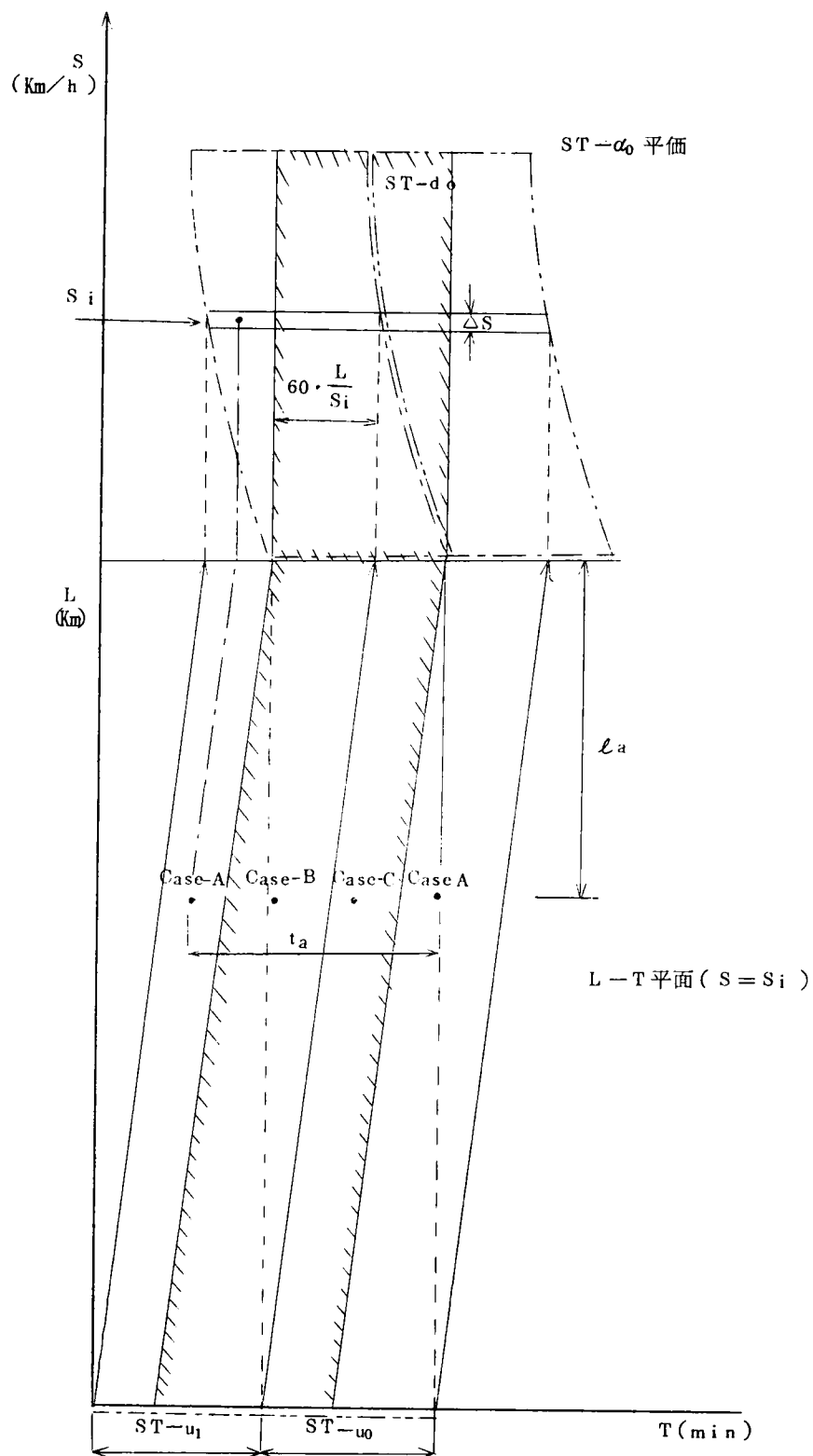


図-4-17 異常交通の伝播状態

生を検知することができる。いかえれば図-4-9で示したように前面-Ⅰの上流側検知器への到達時間が前面-Ⅱの下流側検知器への到達時間よりも早い場合も十分想定されるのである。このような場合はオキュパンシーの急激な増加といった明確な指標に基づいて両検知器間で異常事態が発生したことを知るわけであるが、一般的には前面-Ⅰの伝播速度は遅く、下流側車両検知器において計測交通量の低下現象が早く現われる確率が高いといえる。したがって、ここで問題とするのは前面-Ⅰが上流側車両検知器で検知される以前の状態において、図-4-17で示される下流側検知器で計測される交通量、すなわち領域 $ST-d$ に含まれる車両台数の減少が式(4-26)で示される範囲を超えるかどうかによって異常事態発生 の推定を試みようとするものである。今異常事態発生地点での計測単位時当り交通量を V_a とする。ここでも V_a は二重マルコフ連鎖による交通発生モデルに従うものとして V_a の期待値を \bar{V}_a としたとき $N(\bar{V}_a, I_r \bar{V}_a)$ なる正規分布を成すものとする。また異常事態発生 の地点は下流側検知器から上流に ℓ_a (Km)の距離に、発生時刻は現在の単位時間計測終了時よりも t (分)以前であったものとする。

いま i 番目の速度範囲にある車群について考える。事故の発生地点 ℓ_a を仮に固定して考えても事故の発生時刻によって図-4-17に示されるように4つのケースが考えられる。

Case - A

$S = S_i$ なる LT 平面上において下流側車両検知器の検知対象交通量の分布領域(図-4-15においてハッチで示す部分)よりも時間的には早く事故が発生している場合で、このような事態が起る条件は

$$\text{条件: } t_a - \frac{6.0 \ell_a}{S_i} \geq 5, \text{ すなわち } 0.2 t_a - \frac{1.2 \ell_a}{S_i} \geq 1 \quad \dots\dots\dots (4-26)$$

であり、下流側車両検知器への到達台数の期待値 $E(V_{da})_A$ は

$$\text{期待値: } E(V_{da})_A = \bar{V}_a P(S_i) \quad \dots\dots\dots (4-27)$$

である。

Case - B

事故発生 の時刻は下流側車両検知器の検知対象交通の分布領域内にあるが、上流側車両検知器の検知範囲からみると、前の5分間すなわち $ST-u_1$ に対応した分布領域内にある。この場合の下流側車両検知器への到達台数の期待値は、 \bar{V}_{u_1} と \bar{V}_a に支配される。このような状態をもたらす t_a の条件および V_{da} の期待値は

$$\text{条 件: } 5 > t_a - \frac{60\ell_a}{S_i} \geq 5 - \frac{60L}{S_i} \quad \text{or} \quad 1 > 0.2t_a - \frac{12\ell_a}{S_i} \geq 1 - \frac{12L}{S_i} \quad \dots\dots\dots (4-28)$$

$$\begin{aligned} \text{期待値: } E(V_{da})_B &= \left(1 - \frac{t_a - 60\ell_a/S_i}{5}\right) U_{u1} \cdot P(S_i) + \frac{t_a - 60\ell_a/S_i}{5} U_a P(S_i) \\ &= \left\{U_{u1} - \left(0.2t_a - 12\frac{\ell_a}{S_i}\right)(U_{u1} - U_a)\right\} P(S_i) \quad \dots\dots\dots (4-29) \end{aligned}$$

Case - C

事故発生時刻は $ST - u_0$ に対応する領域にある。このような状態をもたらす t_a の条件、および V_{da} の期待値は

$$\begin{aligned} \text{条 件: } 5 - 60\frac{L}{S_i} > t_a - 60\frac{\ell_a}{S_i} \geq 0 \\ \text{すなわち、} 1 - 12\frac{L}{S_i} > 0.2t_a - 12\frac{\ell_a}{S_i} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (4-30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{期待値: } E(V_{da})_C &= \left\{U_{u1} \cdot \frac{12L}{S_i} + U_{u0} \left\{\left(1 - \frac{12L}{S_i}\right) - \left(0.2t_a - \frac{12\ell_a}{S_i}\right)\right\}\right. \\ &\quad \left.+ U_a \left(0.2t_a - \frac{12\ell_a}{S_i}\right)\right\} \cdot P(S_i) \\ &= \left\{U_{u0} + \frac{12L}{S_i}(U_{u1} - U_{u0}) - \left(0.2t_a - \frac{12\ell_a}{S_i}\right)(U_{u0} - U_a)\right\} \\ &\quad P(S_i) \quad \dots\dots\dots (4-31) \end{aligned}$$

以上のケースの外、 $t - 60 \cdot \ell_a / S_a < 0$ の場合はまた次の5分が経過した後の新たな5分間計測結果に基づいて上記の試算を繰り返していくことになる。

さて、これまでの議論では ℓ_a を固定して考えてきたが、さらに事故の発生時刻も固定されているとしても図-4-17に示されるように速度 S_i を変化させると、速度が増加するにつれて、 $L-T$ 平面上では車両の走行軌跡が立ち上がってくるので速度によって上記の三ケースの生じる可能性がでてくる。いま速度の範囲が n 箇所あると仮定し、 S_1 、 S_2 、 S_3 …… S_i …… S_n と i が増加するにつれて速度が増加していくものと考えれば i が増加するにつれて、下流側車両検知器への到達台数の算定は Case C から B、A へと変化していくことになる。いま $i = j$ 、 k 、 l ($1 \leq j \leq k \leq l$) におい

てそれぞれ条件式(4-26)、(4-28)、(4-30)が満足されたものとする。すなわち

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{12L}{S_j} > 0.2ta - \frac{12\ell_a}{S_j} \geq 0 \quad (\text{全ての } j \text{ について}) \\ 1 > 0.2ta - \frac{12\ell_a}{S_k} \geq 1 - \frac{12L}{S_k} \quad (\text{全ての } k \text{ について}) \\ 0.2ta - \frac{12\ell_a}{S_l} \geq 1 \quad (\text{全ての } l \text{ について}) \quad \dots\dots\dots (4-32) \end{array} \right.$$

であるとすれば事故発生箇所および発生時刻が ℓ_a および t_a であるという条件のもとで下流側車両検知器への到達台数の期待値 $E(V_{da})$ は下記により算定される。

$$E(V_{da}) = \sum_{i=1}^j E(V_{da})_C + \sum_{i=j+1}^k E(V_{da})_B + \sum_{i=k+1}^n E(V_{da})_A \dots\dots\dots (4-33)$$

また V_{da} の分散 $V(V_{da})$ は

$$V(V_{da}) = I_r\{E(V_{da})\} \cdot E(V_{da})$$

で求めることができるから V_{da} も $N\{E(V_{da}), I_r\{E(V_{da})\} \cdot E(V_{da})\}$ 正規分布をもつ確率変数と考えられる。

4-3-3 異常事態発見の論理

いま上流側車両検知器の現在およびその前の5分間計測台数 V_{u0} および V_{u1} が与えられたとき現在の下流側検知器の5分間計測台数は異常事態が発生しなければ式(4-26)の範囲に入る可能性が大である。問題は考えている10分間の時間帯と想定する両車両検知器に挟まれた時間空間内の任意の点で事故等が発生し、式(4-27、29および31)で与えられる交通量が発生した際どのような状態のもとで異常事態発生と判定されるかということである。

判定の基本となるものは異常事態による交通の減少に注目することにある。想定した異常事態での下流側車両検知器への到達する台数 V_{da} の実現値よりも小さくなる確率が式(4-23)の正常な交通が流れているという仮定のもとでどの程度であるかによって判定を行なうことができる。

すなわち $V_{da} : N\{E(V_{da}), I_r\{E(V_{da})\} \cdot E(V_{da})\}$ が実現値 u_{da} をもったとき、到達交通量が u_{da} 以下となる確率は、交通の正常性の仮定のもとでは V_{d0} は $N\{E(V_{d0}), V(V_{d0})\}$ 確率変数であるから

$$P(V_{d0} \leq u_{da}) = \Phi\left(\frac{u_{da} - E(V_{d0})}{\sqrt{V(V_{d0})}}\right) \quad \dots\dots\dots (4-34)$$

がある一定の確率 α 以下の場合に交通の正常性の仮定が否定されると考えてよいであろう。ただし上式は単に下流側車両検知器へ到達する交通量自身である。問題としているのは計測交通量であるから V_{da} 、 V_{do} の計測誤差を考慮するならば

$$P(V_{do} \geq U_{da}) = \Phi\left(\frac{U_{da} \cdot \xi - E(V_{do})}{\sqrt{V_{do}}}\right) \quad \dots\dots\dots (4-35)$$

ここに α は計測誤差による補正で

$$\left. \begin{array}{ll} \text{最も危険サイドの判定の場合は} & \xi = \frac{1 - \gamma_-}{1 + \gamma_+} \\ \text{平均的な場合} & \xi = 1 \\ \text{最も安全サイドの判定の場合} & \xi = \frac{1 + \gamma_+}{1 - \gamma_-} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4-36)$$

と考えれば十分であろう。

また V_{da} 、 V_{do} 共に確率変数であり事故等の発生時刻および地点を固定して考えても種々の値をとり得るのであるが上記のように判定をあまくするか、厳しくするかによってそれぞれの発生確率に相当する V_{da} 、 V_{do} の実現値の組合せを考えていけばよいであろう。

4-3-4 等間隔配置方式における設置間隔の評価

本章第一節で述べたようにこれまでの研究によれば地方部高速道路における単路部での車両検知器の設置方式としては理論的なものとしては、等間隔配置方式と3分配置方式があげられているが、ここでは本章の第二節および第三節で検討してきた5分間計測交通量の変動特性とその伝播の論理を用いて等間隔配置方式で示された設置間隔の範囲のうち2Kmおよび5Kmの評価を試みる。これは地方部高速道路における車両検知器を駆使して行なう交通制御の体系はその最大の目的を事故の自動探知あるいは、事故発生時の緊急制御にあることはこれまでに示されたとおりであるが、3分配置方式はこの緊急流出制御のためのものであり等間隔に配置された車両検知によりより早く緊急事態の探知または確認が可能であれば高速道路の制御上有利になると考えられるからである。

試算にあたって想定した異常事態の状況や交通需要のレベル等を列挙すれば下記のとおりである。

(i) スキャンニング周期

スキャンニング周期によって通過交通量の分散-平均化が多少変動することは図-4-14に示されているとおりであるが、本試算にあたっては第二章および第三章で示されたように最適スキャンニングである150msを用いる。したがってこれまでスキャンニング周期を記すために

用いた添字 r は省略し、以後分散—平均比は $I(u)$ で示す。

(ii) 異常事態の想定

異常事態としては完全閉塞という強烈なものではなく、一車線は閉鎖される程度の事故で放置すれば危険であり、事態の自動探知は困難と予想されるケースを想定する。ただしこのような状態での交通容量の実測例はないので、名神高速道路の栗東～八日市間で行なわれた対面交通規制実施時の分離帯開口部における通過交通の車群形成時の車頭間隔の実測例から V_a としては $1,200^{(12)}$ 台/時程度のものを想定する。参考までにこの対面交通規制は名神高速道路の舗装オーバーレイ工事のためにはば 2Km 毎に設置された中央分離帯開口部を利用し、二つの開口部にはさまれた区間内で上下両方向の交通を片側の車道へ流し他の片方の車道で能率よくオーバーレイ工事を実施したものでその規制方法の概略は図—4—18に示すとおりである。開口部を通過する車両の平均速度は 35Km/h 程度で高速道路上としては非常に速度を落しており、一車線閉鎖時の事故地点通過交通の想定としては無理のないものと考えられる。対面交通の開口部中間点における車頭間隔の累加曲線を同じく図—4—17に示すと、平均車頭間隔が 9.2 秒であるが 5 秒以下の車頭間隔が全体の 75% 近くもあり、車群形成の傾向が大きく、車群内の平均車頭間隔は 2.6 秒でこれから推定される容量は $1,200$ 台/h程度である。

600 台/時/車線に対する分散平均比は図—4—15から 1.10 でありこれから求められる V_a の範囲は下記のとおりである。

$$V_a \begin{cases} \text{平均 } \mu_a' = 1,200 / 12 = 100 \text{ 台/5分} \\ \text{分散 } \sigma = \sqrt{1.10} \times 100 = 10.50 \end{cases}$$

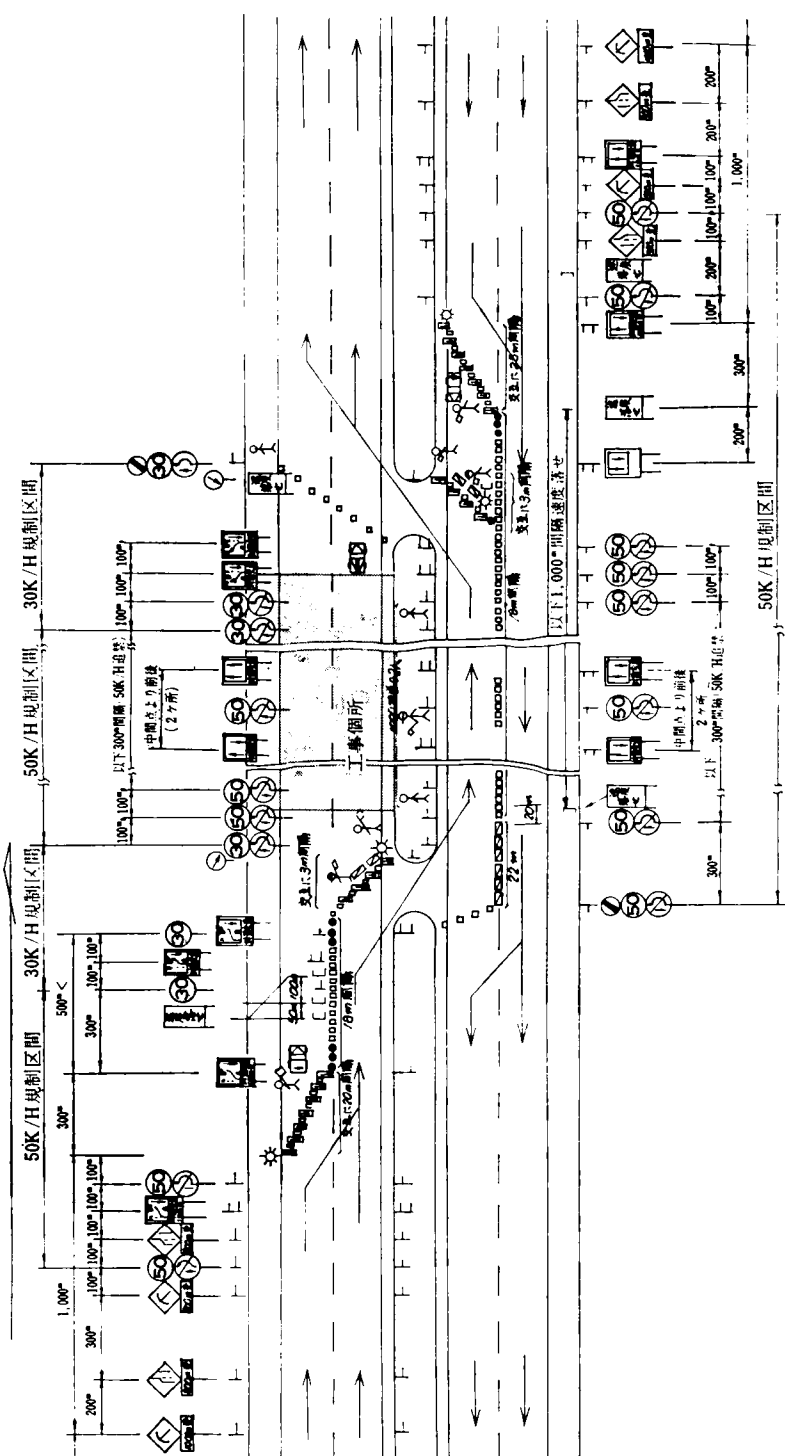
$\therefore 10\%$ の信頼限界を考えると $Z_{0.05} = 1.645$ であるから

$$\max. \mu_a = 100 + 1.645 \times 10.50 = 117 \text{ (台/分)}$$

$$\min. \mu_a = 100 - 1.645 \times 10.50 = 83 \text{ (台/分)}$$

(iii) 速度分布

速度の分布は平常時においては両車両検知器に挟まれる全区間および異常時には事故発生地点の下流側の区間において 交通量のいかに問わず不変の分布を仮定し、計算上の便からクラスは下表のとおり 6 クラスを考え、表—2—3を参考に下表のとおり定めた。速度分割のビッチは 10Km/h であり各クラス共その中央値を代表速度としているが両端のクラスの代表速度は表—2—3の該当する速度範囲の平均速度を求めたものである。



凡	例	ラバーコーン	ドラムカン	バリエード
<ul style="list-style-type: none"> 標識車 矢印板 ラバーコーン ドラムカン バリエード 回転灯 	<ul style="list-style-type: none"> 安全文庫 作業員 警備員 レッカー車 照明機 作業機 	<ul style="list-style-type: none"> ラバーコーン (右側) ラバーコーン (左側) 	<ul style="list-style-type: none"> ドラムカン (右側) ドラムカン (左側) 	<ul style="list-style-type: none"> バリエード (右側) バリエード (左側)

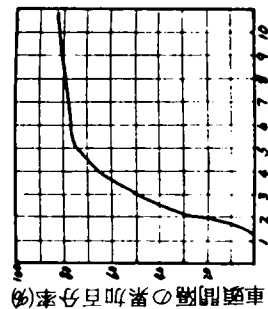


図-4-18 対面交通規制区間の規制方式および中央分離帯開口部通過交通の車頭間隔の分布状況

表-4-2 速度分布表

番 号 (i)	速 度 範 囲	代 表 速 度 (S _i)	発 生 確 率 P(S _i)
1	70Km/h 以上	65.5 Km/h	0.1380
2	70～ 80Km/h	75.0 Km/h	0.3804
3	80～ 90Km/h	85.0 Km/h	0.2663
4	90～100Km/h	95.0 Km/h	0.1379
5	100Km/h 以上	108.3 Km/h	0.0774

以上の速度分布は交通量が変化しても一定であると仮定する。(図-2-31参照)

(iv) 交通需要のレベル

$U_{u,1}$ のレベルを一車線閉塞の想定交通容量、および速度分布の一定という仮定を考え断面交通量として1,500台/時、2,000台/時および2,500台/時の三種類を用いる。この場合の $U_{u,0}$ のとり得る範囲は次のとおりである。

1,500台/時の場合

$$I(1,500/2) = 1.13$$

$$\text{平均 } \bar{U}_{u,1} = 1,500 / 12 = 125 \text{ 台/5分}$$

$$\text{分散 } \sigma = \sqrt{1.13} \times 125 = 1.88$$

10%の信頼限界を考えて、 $Z_{0.05} = 1.645$ であるから交通需要に変化がないという仮定条件から式(4-22)を適用して

$$\max U_{u,0} = 125 + 2 \times 1.645 \times 1.88 \div 164 \text{ (台/5分)}$$

$$\min U_{u,0} = 125 - 2 \times 1.645 \times 1.88 \div 86 \text{ (台/5分)}$$

当然平均の状態では $U_{u,0} = 125 \text{ 台/5分}$ である。

2,000台/時の場合

$$I(2,000/2) = 1.18$$

$$\text{平均: } \bar{U}_{u,1} = 2,000 / 12 = 167 \text{ 台/5分}$$

$$\text{分散: } \sigma = \sqrt{1.18} \times 167 = 1.403$$

$$\therefore \max U_{u,0} = 167 + 2 \times 1.645 \times 1.403 = 213 \text{ 台/分}$$

$$\min U_{u,0} = 167 - 2 \times 1.645 \times 1.403 = 123 \text{ 台/分}$$

2,500台/時の場合

$$I(2,500/2) = 1.22$$

平均： $U'_{u1} = 2500 / 12 = 208$ 台／5分

分散： $\sigma = \sqrt{1.22 \times 208} = 15.93$

$\max U_{u0} = 208 + 2 \times 1.645 \times 15.93 = 260$ 台／分

$\min U_{u0} = 208 - 2 \times 1.645 \times 15.93 = 156$ 台／分

また計算にあたって前の5分間の交通量が上記のように与えられた場合の上流側車両検知器の今の5分間交通量および事故発生地点での交通量の組合せは下表のように考える。

表一4-3 V_{u0} および V_a の組合せ

交通量区分 組合せ分類	今の5分間交通量 V_{u0}	事故発生地点交通量 V_a
ケースⅠ	$\min U_{u0}$	$\max U_a$
ケースⅡ	$U'_{u0} = U'_{u1}$	$\max U_a$
ケースⅢ	$U'_{u0} = U'_{u1}$	U'_a
ケースⅣ	$U'_{u0} = U'_{u1}$	$\min U_a$
ケースⅤ	$\max U_{u0}$	$\min U_a$

上表のケースはⅠからⅤへ番号が進むにつれて事故の発見が容易となっている。すなわち、ケースⅠでは前の5分間計測の結果から交通需要に変化がないとした場合の許容変動範囲内で今の5分間計測交通量が最少となる場合を想定しこの二つの5分間計測交通量から下流側車両検知器への到達交通量を推定しさらに事故発生地点交通量が許容範囲内で最大と仮定した場合であって事故発生による交通量の減少の程度が、事故発生なしと仮定して求められる下流側車両検知器への到達交通量と対比して異常発生かどうかを検定しようとするかぎり最も異常検知に不利な組合せとなる。もっともケースⅠはその極端な場合を想定しているといつてよい。ケースⅡ,ⅢおよびⅣでは上流側車両検知器における前回および今回の5分間交通量は変化はなく、ただ事故発生地点交通量が許容範囲内で、最大、平均および最少と変化した場合でやはりケース番号が進むにつれて事故発生による交通量の減少の程度が大きくなっていく。さらにケースⅤはケースⅠの反対で事故発生なしと仮定した場合の到達交通量は最大で、 V_a は最少のケースを想定したものである。計算にあたって用いた具体的数値は表一4-4のとおりである。

表－４－４ 実施計算に用いた５分間交通量の組合せ

$\begin{matrix} V_{u1} \\ V_{u0} \\ \text{ケース} \end{matrix}$	125台/分(1,500台/時)		167台/分(2,000台/時)		208台/分(2,500台/時)	
	V_{u0} (台/5分)	V_a (台/5分)	V_{u0} (台/5分)	V_a (台/5分)	V_{u0} (台/5分)	V_a (台/5分)
I	—	—	123	117	156	117
Ⅱ	125	117	167	117	208	117
Ⅲ	125	100	167	100	208	100
Ⅳ	125	83	167	83	208	83
V	164	83	213	83	260	83

(V) 事故発生の地点と時間、および適用試算式の算定

事故発生の地点としては2Km間隔設置および5Km間隔設置のいずれの場合も上流側車両検知器と下流側車両検知器の中間点とし、事故発生の時間としては $t_a = 2.5$ 分、5分および7.5分の3ケースを想定する。ただし $t_a = 2.5$ 分の場合でも結果が信頼度5%以下の場合は $t_a = 1.0$ 分についてさらに計算する。さて式(4-32)によれば事故発生時における下流側車両検知器への到達交通量の算定式は、車両検知器の設置間隔(L)、事故発生地点から下流側車両検知器までの距離(a)事故発生時間(t_a)および速度(S_i)からのみ定まる。すなわち、 $(0.2t_a - \frac{12La}{S_i})$ が $(1 - \frac{12L}{S_i})$ よりも小のときは式(4-31)に示されるCase Cの算定式が、また $(0.2t_a - \frac{12La}{S_i})$ が $(1 - \frac{12L}{S_i})$ よりも大でかつ1よりも小の場合は式(4-29)に示されるCase Bの算定式が、さらに $(0.2t_a - \frac{12La}{S_i})$ が1よりも大のときは式(4-27)に示されるCase Aの算定式が適用されなければならない。想定した各ケースについて $(0.2t_a - \frac{12La}{S_i})$ および $(1 - \frac{12L}{S_i})$ を求め適用式を求めると表-4-5のとおりで、本試算の場合は車両検知器の設置間隔に関係なく、 $t_a = 2.5$ 分、5.0分および7.5分に対してそれぞれCase C、B、およびAの算定式を適用しなければならないことが示される。また $t_a = 1.0$ の場合は当然Case Cが適用される。

(VI) 検定の結果

表-4-4に示される5分間交通量の各組合せに対して、まず式(4-24)によって事故が発生しない通常の場合について下流側車両検知器への到達交通量(V_{d0})とその分散を求める。これに対して中間地点で事故が現在の5分間交通量(V_{u0})が計測された時点よりも2.5分前、5分前および7.5分前に発生した場合の到達交通量(V_{da})を算定し、先に求めた V_{d0} の分

表-4-5 事故発生時下流到達交通量算定の適用式一覧表

判定式および 検知器 間隔 (L)		事故発生時間 (t _a)		t _a = 2.5 分		t _a = 5.0 分		t _a = 7.5 分	
		代表適用式		$1 - \frac{1.2L}{Si}$	$0.2t_a - \frac{12\mathcal{L}_a}{Si}$	適用式	$0.2t_a - \frac{12\mathcal{L}_a}{Si}$	適用式	適用式
L = 2.0 Km ($\mathcal{L}_a = 1.0 \text{ Km}$)		S ₁ = 6 5.5 Km/h 7 5.0		0.634	0.317	C	0.816	B	1.317 A
		S ₂ = 7 5.0 "		0.680	0.340	C	0.840	B	1.340 A
		S ₃ = 8 5.0 "		0.718	0.358	C	0.858	B	1.358 A
		S ₄ = 9 5.0 "		0.747	0.373	C	0.874	B	1.374 A
		S ₅ = 10 8.3 "		0.778	0.389	C	0.889	B	1.389 A
L = 5.0 Km ($\mathcal{L}_a = 2.5 \text{ Km}$)		S ₁ = 6 5.5 Km/h		0.083	0.062	C	0.542	B	1.042 A
		S ₂ = 7 5.0 "		0.200	0.100	C	0.600	B	1.100 A
		S ₃ = 8 5.0 "		0.294	0.147	C	0.647	B	1.417 A
		S ₄ = 9 5.0 "		0.368	0.184	C	0.684	B	1.184 A
		S ₅ = 10 8.3 "		0.446	0.223	C	0.722	B	1.223 A

表-4-5-(1) 検定計算例(その1) : 平常時における交通の伝播(式(4-24)適用)

ケース 項目	(1) i	(2) S _i	(3) 12L/S _i	(4) V _{u1}	(5) (3)×(4)	(6) 1-(3)	(7) V _{u0}	(8) (6)×(7)	(9) (5)+(8)	(10) P(S _i)	(11) (9)×(10)
L = 2 Km V _{u1} = 167 V _{u0} = 123	1	6.55	0.3664		60.85	0.6336		77.93	138.78	0.1380	19.15
	2	7.50	0.3200		53.44	0.6800		83.64	137.08	0.3804	52.15
	3	8.50	0.2824	167	47.16	0.7176	123	88.26	135.42	0.2663	36.06
	4	9.50	0.2526		42.18	0.7474		91.93	134.11	0.1379	18.49
	5	10.83	0.2216		37.01	0.7784		95.74	132.75	0.0774	10.27
計					V _{d0} = 136.12、I(136.12×12/2) = 1.14、 $\sqrt{V(V_{d0})}$ = 12.45						136.12
L = 5 Km V _{u1} = 167 V _{u0} = 123	1	6.55	0.9160		152.97	0.0840		10.33	163.30	0.1380	22.54
	2	7.50	0.8000		133.60	0.2000		24.60	158.20	0.3804	60.18
	3	8.50	0.7059	167	117.88	0.2941	123	36.17	154.05	0.2663	41.02
	4	9.50	0.6316		105.48	0.3684		45.31	150.79	0.1379	20.79
	5	10.83	0.5540		95.52	0.4460		45.86	147.38	0.0774	11.41
計					V _{d0} = 155.94、I(155.94×12/2) = 1.16、 $\sqrt{V(V_{d0})}$ = 13.45						155.94

表-4-6-(2) 検定計算例(その2): 異常時の交通の伝播($t_a = 2.5$ 分、式(4-31)適用)

項目 ケース	(1) i	(2) S _i	(3) $\frac{12-L}{5i}$	(4) $\frac{0.2ta - \frac{12L}{5i}}{5i}$	(5) V _{u1}	(6) V _{u0}	(7) V _a	(8) V _{u1} - V _{u0}	(9) V _{u0} - V _a	(10) (3)×(8)	(11) (4)×(9)	(12) (6)+(9)-(11)	(13) P(S _i)	(14) (12)×(13)
L=2Km	1	655	0.3664	0.3168						1612	190	13722	0.1380	1894
V _{u1} = 167	2	750	0.3200	0.3400						1408	204	13504	0.3804	5136
V _{u0} = 123	3	850	0.2824	0.3588	167	123	117	44	6	1243	215	13328	0.2663	3549
V _a = 117	4	950	0.2526	0.3737						1111	224	13187	0.1379	1818
	5	1083	0.2216	0.3892						975	234	13041	0.0774	1009
対応する $V_{d0} = 136.12$ 、 $\sqrt{V(V_{d0})} = 124.5$ $(V_{da} - V_{d0}) / \sqrt{V(V_{d0})} = -0.165$ $\alpha = 0.434$ $V_{da} = 13406$														
L=5Km	1	655	0.9160	0.0620						4030	037	16293	0.1380	2248
V _{u1} = 167	2	750	0.8000	0.1000						3520	060	15760	0.3804	5995
V _{u0} = 123	3	850	0.7059	0.2941	167	123	117	44	6	3106	176	15230	0.2663	4056
V _s = 117	4	950	0.6316	0.3684						2779	221	14858	0.1379	2050
	5	1083	0.5540	0.4460						2438	268	14470	0.0774	1120
対応する $V_{d0} = 155.94$ 、 $\sqrt{V(V_{d0})} = 134.5$ $(V_{d0} - V_{d0}) / \sqrt{V(V_{d0})} = -0.093$ $\alpha = 0.463$ $V_{da} = 15469$														

表-4-6-(3) 検定計算例(その3) : 異常時の交通の伝播 ($t_a = 5.0$ 分、式(4-29)適用)

ケース	項 目	(1) i	(2) S i	(3) $0.2t_a \frac{12L_a}{S_i}$	(4) V_{u1}	(5) V_a	(6) $V_{u1} - V_a$	(7) (3)×(6)	(8) (4)-(7)	(9) P (S i)	(10) (8)×(9)
L = 2 Km $V_{u1} = 167$ $V_{u0} = 123$ $V_a = 117$		1	6.5.5	0.8168				4.084	126.16	0.1380	17.41
		2	7.5.0	0.8400				4.200	125.00	0.3804	47.55
		3	8.5.0	0.8588	167	117	50	4.294	124.06	0.2663	33.03
		4	9.5.0	0.8736				4.368	123.32	0.1379	17.01
		5	10.8.3	0.8892				4.468	122.54	0.0774	9.48
対応する $V_{d0} = 136.12$ 、 $\sqrt{V(V_{d0})} = 12.45$ $(V_{da} - V_{d0}) / \sqrt{V(V_{d0})} = -0.935$ $\alpha = 0.175$ $V_{da} = 124.48$											
L = 5 Km $V_{u1} = 167$ $V_{u0} = 123$ $V_a = 117$		1	6.5.5	0.5420				27.10	139.90	0.1380	19.30
		2	7.5.0	0.6000				30.00	137.00	0.3804	52.11
		3	8.5.0	0.6471	167	117	50	32.36	134.64	0.2663	35.85
		4	9.5.0	0.6842				34.21	132.79	0.1379	18.31
		5	10.8.3	0.7230				36.15	130.85	0.0774	10.13
対応する $V_{d0} = 155.49$ 、 $\sqrt{V(V_{d0})} = 13.45$ $(V_{da} - V_{d0}) / \sqrt{V(V_{d0})} = -1.471$ $\alpha = 0.071$ $V_{da} = 135.70$											

表-4-6-(4) 検定計算例(その4)：異常時の交通の伝播($t_a = 7.5$ 分：式(4-27)適用)

$$\begin{aligned}
 L &= 2 \text{ Km} & V_{da} &= V_a = 1 \ 2 \ 3 \\
 \text{対応する } V_{d0} &= 1 \ 3 \ 6 \ 1 \ 2 \ , \ \sqrt{V(V_{d0})} = 1 \ 2 \ 4 \ 5 \\
 (V_{da} - V_{d0}) / \sqrt{V(V_{d0})} &= -1.0 \ 5 \ 4 \\
 \alpha &= 0.1 \ 4 \ 6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= 5 \text{ Km} & V_{da} &= V_a = 1 \ 2 \ 3 \\
 \text{対応する } V_{d0} &= 1 \ 5 \ 5 \ 4 \ 9 \ , \ \sqrt{V(V_{d0})} = 1 \ 3 \ 4 \ 5 \\
 (V_{da} - V_{d0}) / \sqrt{V(V_{d0})} &= -2.4 \ 1 \ 6 \\
 \alpha &= 0.0 \ 0 \ 8
 \end{aligned}$$

布状態から到達交通量が V_{da} の実現値以下となる確率を次式によって求める。

$$P(V_{do} < V_{da}) = 1 - \int_{-\infty}^Z \alpha \phi(Z) dZ = \alpha$$

$$\text{ここに } Z = \frac{V_{da} - V_{da}}{\sqrt{V(V_{da})}}$$

この異常時到達交通量以下となる確率 α が0.05以下であれば信頼度5%をもって異常が発生したといえることになる。表-4-6に表-4-4に示される各5分間交通量のうち $V_{u1} = 167$, $V_{u0} = 123$, $V_a = 117$ の場合を計算の1例として示す。表-4-5-(1)に $V_{u1} = 167$, $V_{u0} = 123$ の場合の下流側車両検知器への到達交通量とその分散が、表-4-5-(2)、(3)および(4)に $t_a = 2.5$ 分、5.0分および $t_a = 7.5$ 分に対応する事故発生時の下流側車両検知器への到達交通量(V_{a1})と α がそれぞれ計算されている。例においては交通需要2000台/時におけるケースⅡの場合で異常検知がかなり困難な場合で α の値は0.463から0.008とかなり高い値を示している。また V_{u0} が非常に小さい値を想定した場合なので到達交通量は伝播が遅れる5km間隔設置の場合のほうが下流側への到達交通量が大となり結果として異常検知は表-4-6-(4)に示すように5km間隔設置方式で検知されるという結果のある場合も、ありうることを示している。なお検定計算例からも明らかなように計測誤差による補正は平均的な場合を想定して式(4-36)中に示される $\xi = 1$ の場合をとっている。

表-4-4に示される各5分間交通量の組合せの全てについて行なった検定計算の結果を図-4-19に示す。図において交通需要のレベルに分けて各ケースごとに事故発生時間と α の関係を示している。図-4-19-(1)は2km間隔設置方式に対する計算結果であり図-4-19-(2)は5km間隔設置方式に対するものである。一般的傾向は事故発生時間が大となるにつれて、すなわち現時点の5分間交通量が計測された時点よりも事故の発生時点がさかのぼっていけばいほど、 α は小となり異常事態の検知が容易であること、および交通需要のレベルが大となるにつれて α は急速に小となることがうかがえる。

以上の関係を2km間隔設置方式と5km間隔設置方式との関連においてより明確にするために、 α の値が信頼度5%のレベルに達する事故発生時間を組合せ分類のケースごとに交通需要のレベルと対比させながらまとめて示すと図-4-20のようになる。 α が信頼度5%のレベルと交わる時間とは事故発生時間がこれよりも遅れた場合には、上下流両検知器からの計測台数を比較して異常発生を検知することが現時点の結果からでは不可能であるような時間を示している。端的に言えば現時点での異常検知が可能となる事故発生時間の限界値である。この値を事故発生

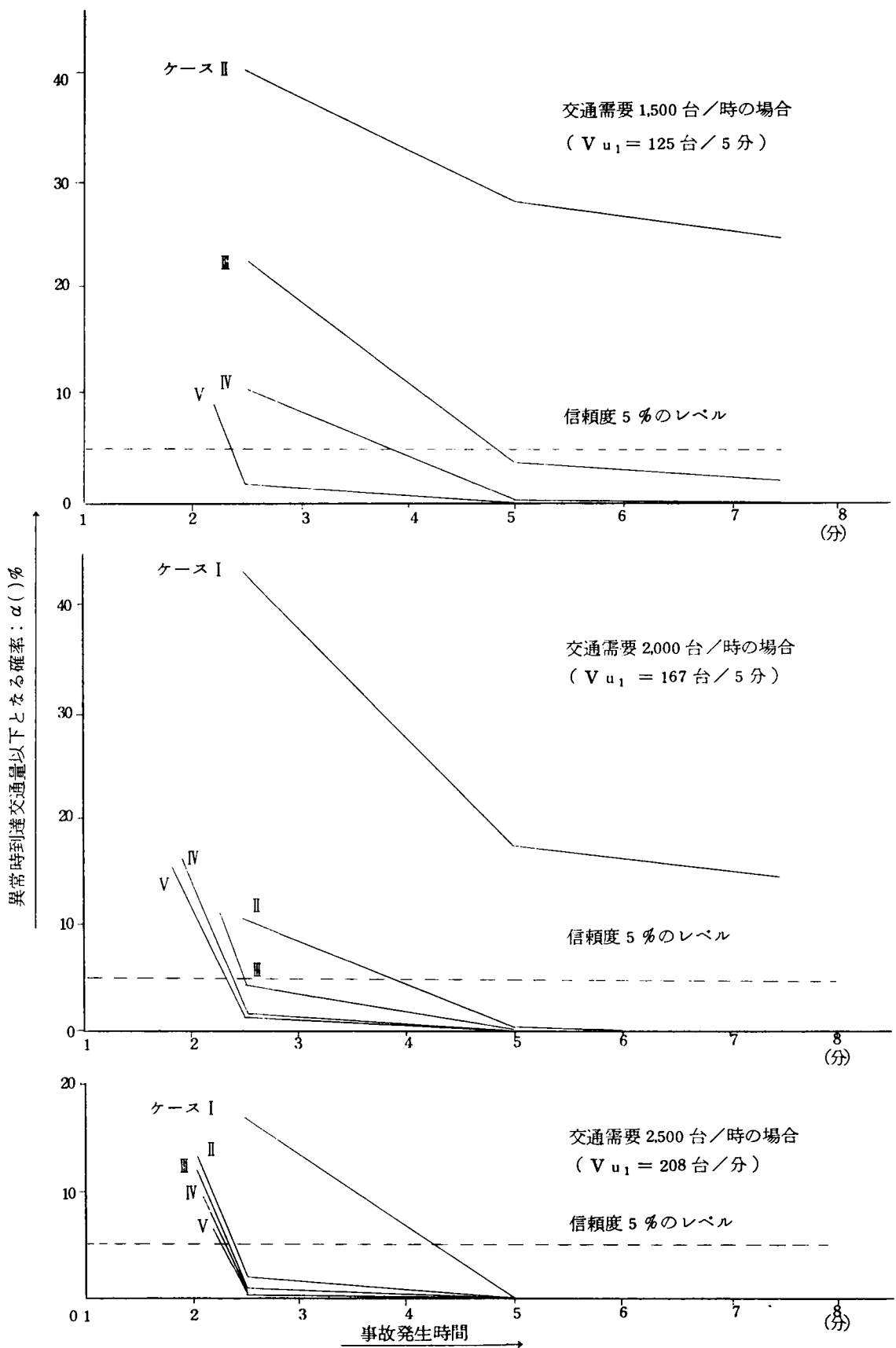


図-4-19-(1) 事故発生時間と α の関係 (2Km間隔設置方式の場合)

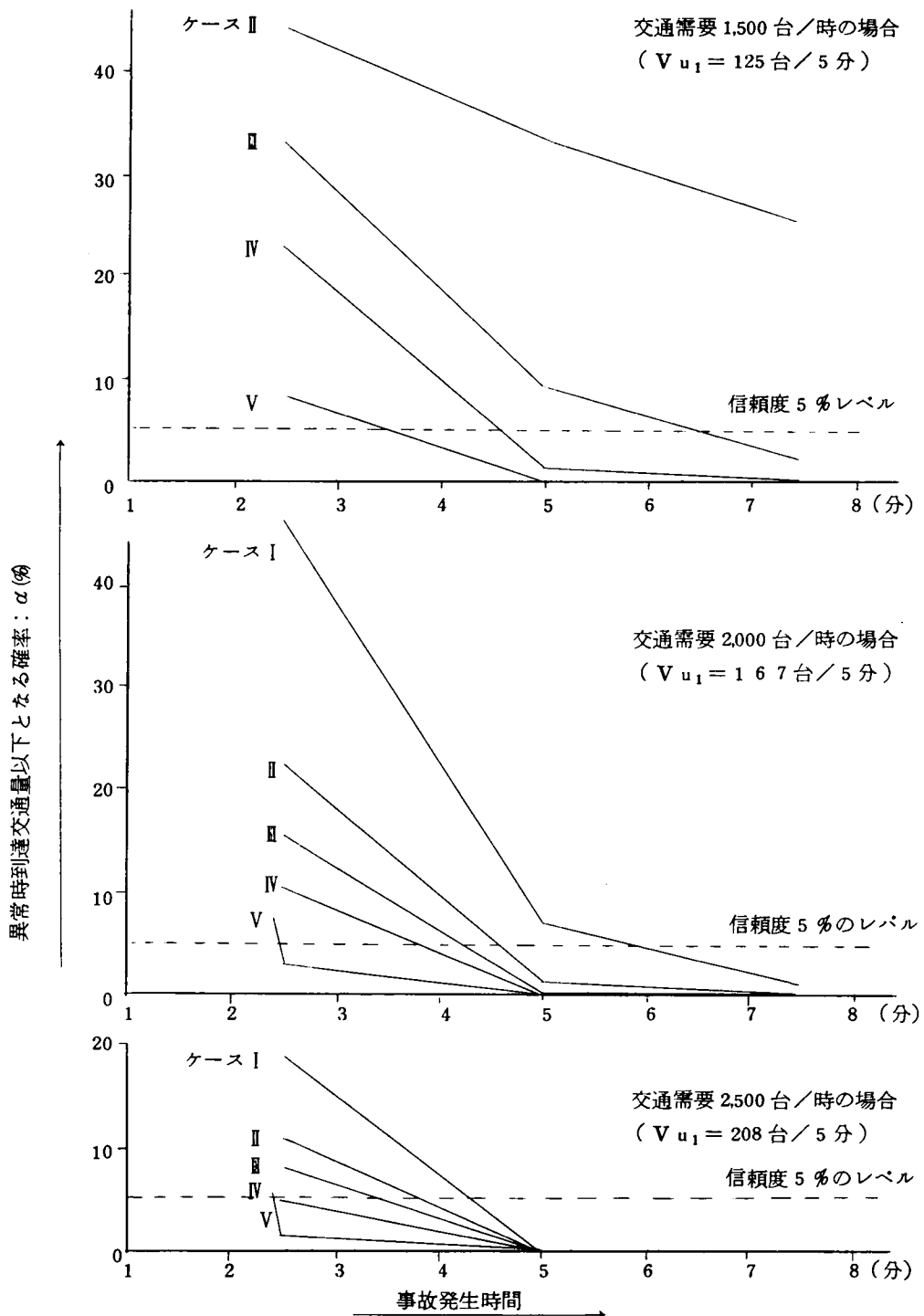
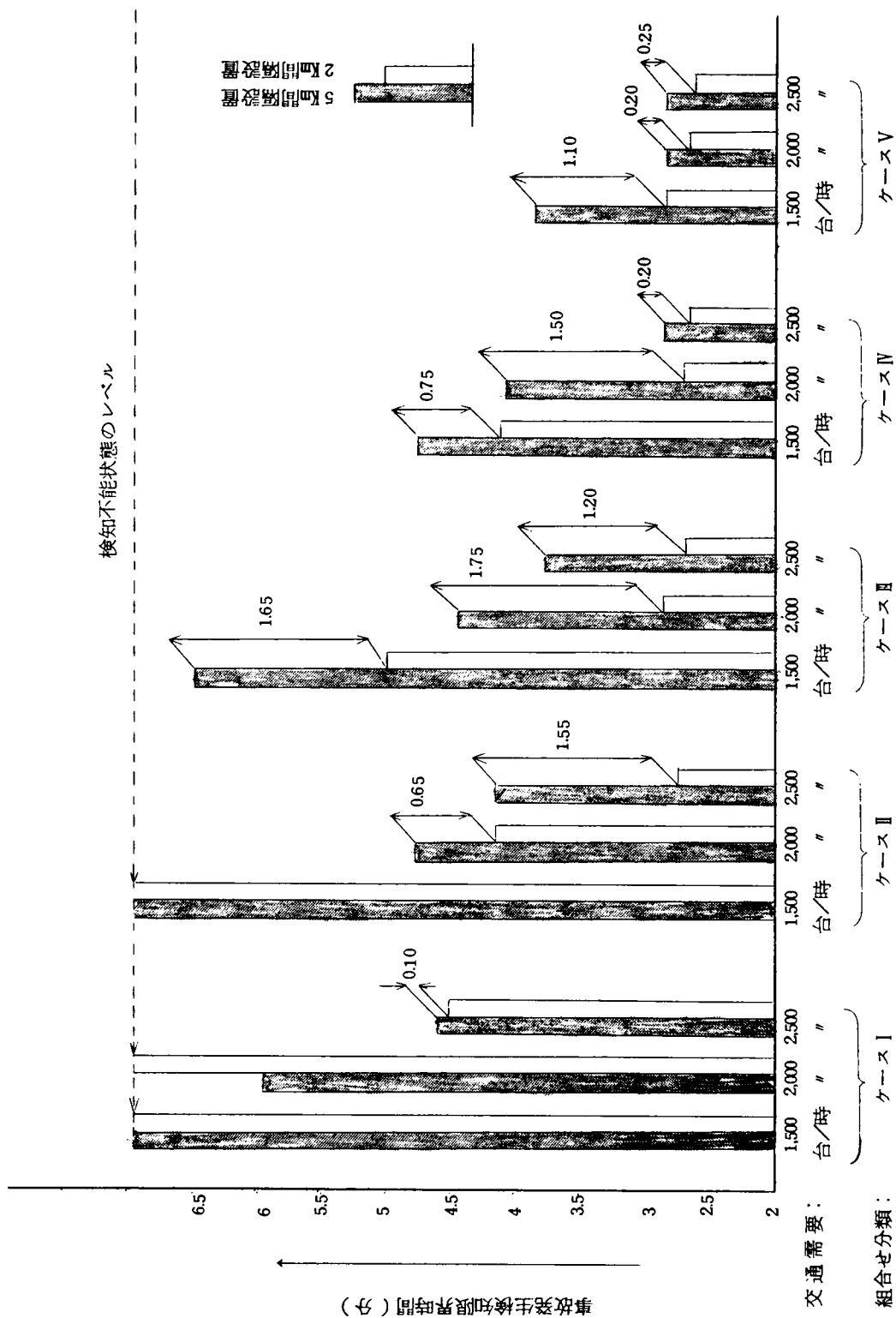


図-4-19-(2) 事故発生時間と α の関係 (5km間隔設置方式の場合)



図一四一 設置方式別の事故発生検知限界時間と交通需要・交通変動組合せの関係

検知の限界時間と呼ぶこととして、この限界時間が小さければ小さいほど現時点での検知が可能となる確率は高くなっていく。ところで5分間交通量の値と変動の組合せによって t_a がどのような場合でも検知不可能な場合をのぞいて、事故発生時間が限界時間よりも遅い場合、すなわち t_a が限界値よりも小さい場合には事故の発生は次の5分後の計測結果によって検知されることになる。たとえばケースⅣの交通需要1,500台/時の場合、現時点よりも6.5分以前に発生した事故は両方式共に検知可能であるが、それよりも遅れ、4.85分に到るまでの間は2km間隔設置方式のみが検知可能で5km間隔設置方式では次の5分間の計測結果を待たざるを得ないことになる。問題は6.5分－4.85分＝1.75分の差をどのように評価するかということである。

(vii) 車両検知器設置方式の評価

いま事故発生の時間的分布を一様分布と仮定すると上記の例では異常検知の検知器配置方式による差によって5分遅れる確率は $1.75/5 = 0.35$ であると考えてよい。図－4－19からみて限界値の差はたかだか1.75分程度であり、最大35%までは検知が5分遅れということになる。

ここで5分の遅れを交通運用上の点から考えてみると次のとおりとなる。まず事故等の異常が発生した場合の道路管理者としてなすべき事項を列挙すれば(1)事故当事者の救急援助および現場の安全確保のための交通規制、(2)電光式可変情報板等による一般利用者への事故情報の提供または必要に応じて交通止または流入車の制限等の交通処理の実施、(3)警察による現場検証の後道路上の支障物件の排除等交通正常化の作業、等があげられるが初期動作である(1)、(2)を適確に実施し、消防署への救急車の出動要請や警察への連絡のためには少なくとも事故の発生地点、および現場の状況、被害の程度等を把握することが必要になってくるが、これらの質的内容についてまで車両検知器で探知することは全く不可能であることはいうまでもない。車両検知器の有用性は流入流出制御等による渋滞防止対策の実施およびその有効性の確認において発揮されるが、対策実施にあたってまず必要となる事故現場での疎通能力の推定には上記の質的内容をある程度つかむ必要がある。昭和46年度の高速度道路調査会交通流監視制御研究班の報告書⁽¹⁴⁾によると名神高速度道路吹田交通管制室にもたらされる事故情報の経路は下表のとおりである。

表－４－７ 事故認知状況

事故原票区分	事 故 認 知 状 況	事 故 件 数	比 率 (％)
1	警ら隊バト	23	10.0
2	その他警察車両	0	0.0
3	公団バト	9	3.9
4	その他公団車両	4	1.7
5	サービスカー	1	0.4
6	一般車両	30	13.1
7	事故当事者（主に非常電話による）	68	29.7
8	その他	18	7.9
9	非常電話（事故当事者以外）	76	33.3
合 計		229	100.0

注）名神事故原票（西宮～栗東S4.6.8～9）による。

これによると事故当事者またはそれ以外の人による非常電話通報による事故の認知が圧倒的に多く全体の63％を占めている。現在の地方部高速道路においては路側上1Km毎に非常電話が設置されているが、事故現場から非常電話までの到達（主として歩走）時間や連絡に費やされる時間等を考えれば事故状況の認知に5分程度の時間がかかることが往々にしてあることは十分推察されることである。したがって車両検知器設置間隔の差によって生ずるサンプリング時間に相当する5分の遅れ程度は十分許容できるものと考えれば設置および保守に多大の金額を要する検知器の設置間隔は長くしておくことが妥当であることはいうまでもないであろう。ただし事故または渋滞の頻発箇所については道路構造の改造に到るまで管制上必要と考えられる箇所に検知器を設置することは十分意義のあることであろう。

参 考 文 献

- (1) 佐佐木綱； 高速道路の交通制御理念、高速道路と自動車 vol.XII、№6、1969年6月
P 27～32
- (2) A.D.May； 米国における高速道路の交通管制、高速道路主催の講演会講演概要、高速道路と自動車、vol.XVI、№2 1973年2月、P 56～66
- (3) 井上矩之； 都市間高速道路の交通制御に関する基礎的研究、京都大学博士論文、昭和48年11月、P 1～6
- (4) 松永典昭； 交通管制機器とその開発、高速道路と自動車、vol.XV、№5、1972年5月、
P 37～41
- (5) 三品武司、岩本俊輔、柴田耕治； 阪神高速道路交通管制システムの概要、OMRON TECHNICS 35、
vol.10、№4、1970、P 235～243
- (6) 高速道路調査会交通流監視制御研究班； 高速道路の交通流監視制御装置に関する研究報告書、
昭和47年2月、P 92～93
- (7) 高速道路調査会交通流監視制御研究班； 高速道路の交通流監視制御装置に関する研究報告書、
昭和44年3月、P 123～201
- (8) 前掲(3) P 166～169
- (9) 交通工学研究会； 1965道路の交通容量、技術書院、昭和43年11月 P 32～35
- (10) 高速道路調査会交通流監視制御研究班； 高速道路の交通流監視制御装置に関する研究報告書、
昭和46年2月 P 85～101
- (11) 高速道路調査会渋滞検知施設調査班； トンネル渋滞検知施設調査報告書、昭和46年3月、
P 83～86
- (12) 巻上安爾； 名神高速道路における工事中の交通規制、交通工学、vol.7、№2、1972年3月
P 3～16
- (13) 前掲(6)、P 37

- (i) Kinzer , J.P. ; Application of the Theory of Probability to Problems of Highway Traffic, Thesis, B.C.E., Polytechnic Institute of Brooklyn, Abstracted in Proc.Inst.Engrs. 5 , P 118 ~ 124 . 1933
- (ii) Greenshield , B.D. and Weida F.M. ; Statistics with application to Highway Traffic Analyses, Eno Foundation for Highway Traffic Control , Saugatuck , Connecticut , 1962
- (iii) Gerlough, D.L. ; The use of the Poisson distribution in highway traffic . In Poisson and Traffic Control , Saugatuck, Connecticut . P 1 ~ 58 , 1955
- (iv) Icwel , W.S. ; The Properties of recurrent — event processes , Ops.Res. 8 446 ~ 472 , 1960
- (v) Buckley , D.J. ; Road traffic counting distributions , Trans . Res. 1 (2) P 105 ~ 116 , 1967
- (vi) Sparks , G.A. ; Stochastic Properties of Traffic , Dissertation Series , Inst. of Trans. & Traffic Eng . Univ . of Calif . Berkeley , 1971
- (vii) Y . Makigami , G.F. Newell , R. Rothery ; Three-Dimensional Representation of Traffic Flow, Transportation Science , Volume 5 No. 3 Aug . 1971 , P 302 ~ 313
- (viii) K. Ohno ; Studies on Road Traffic Flow , Dissertation , Department of Applied Mathematics and Physics , Kyoto Univ . Oct. 1972 , P 72 ~ 88

第 5 章 結 論

第 5 章 結 論

本研究は交通量の計測、主として超音波式車両検知器やループ式車両検知器等を用いて行なわれる交通量の自動計測についての確率的研究を行なったものである。以下にその研究成果を要約し、結論および今後の課題を述べる。

第1章では、交通量の意味とその交通工学の各分野における重要性を明らかにし、さらに交通量を多地点に亘って同時に自動計測していく場合に用いられるスキャンニング法における未検討事項を指摘して、本研究の主たる目的と研究対象とした交通流について述べ、本研究の立場を明確にした。すなわち、スキャンニング法においてスキャンニングの最適化を交通流特性の見地からみて検討しうるかどうか、さらにその最適スキャンニング周期で計測した場合の計測結果の信頼性と、車両検知器の配置について研究を行なうことを主目的として掲げた。対象とした交通流としては都市間高速道路上の交通を主として取り扱うこととして、本研究の目標と限界を明らかにした。

第2章では、まず代表的車両検知器であるループ式および超音波式車両検知器の計測過程を紹介し、両検知器ともに共通しているスキャンニング法による交通量計測過程の特性を抽出した。すなわち、車両検知器が車両の存在を検知している状態を1、存在が検知できない状態を0に対応させ、スキャンニングのたびに打ち出される0と1からなる数列を考えた場合、交通量の計測数は二つの連続した01標示を順次走査した時「01」の表示に対応しているということは、どの車両検知器においてもいえることである。したがって、交通流の特性から最適スキャンニング周期を求めるには、まずミリ秒オーダーの間隔で交通流をチェックしていった場合に車両の占有、非占有の状態をシミュレートする数学モデルを作ることが必要になってくる。本研究では計測行為と二連続0-1表示における「01」が対応すること、および交通流における車種構成も考慮に入れられる利点を考慮して、交通発生モデルとしては二重マルコフ連鎖を利用した。二重マルコフ連鎖による交通発生モデルにおいて各推移確率要素は、交通量、オキュパンシー、大型車混入率から求められることを示した後、計測過程の確率モデルとしては、車両占有状態であるのに0が打ちだされる確率(α)あるいはその逆の事象に対する確率(β)を考慮して、計測台数が過不足となる過程を数式化して計測誤差の期待値、誤差率等が求められることを示した。この確率モデルを名神高速道路交通管制区間における交通量とオキュパンシーの関係、および大型車混入率のデータを基にして、高速道路の本線における一車線交通流、あるいは車線を跨ぐといういわゆる異常通行が全然ない理想的走行状態における多車道路の一車線交通流を考えて最適スキャンニング周期を求めた結果、125から150msという結果を得た。またランプにおける値は250msと推定された。さらにこの最適スキャンニング周

期は、いったん交通量とオキュパンシーの関係が定められれば、交通量に無関係に一定値をとることも示された。

また誤差発生^{・・・}の主要素は、いわゆる正の誤りの発生確率(α)であることが示され、名神高速道路における車両検知器の実測結果から、 α は 0.01 程度と推定され、一車線交通流における車両検知器の交通量計測の誤差率は1%以下と推定された。ただし、名神高速道路の実際上の検知精度はこれよりもはるかに悪く、この主要因である異常走行の影響を評価するために、多車線道路へのモデルの適用が必要となってきた。

交通流の特性と最適スキニングとの関係上注目される点は、同じ交通量に対して高いオキュパンシーを示す交通、たとえば速度が遅いかあるいは大型車混入率の高いような交通に対して、最適スキニング周期^{・・・}が長くなるという結果であるが、これは車両占有状態を示す1の連続が相対的に長く、正の誤りを犯す確率が高くなることから理論的に納得のいくところであった。また阪神高速道路入口料金所のループ式車両検知器の精度調査において、300msから400msの出力保持時間を設け、実質的には長いスキニング周期をだぶらせて高精度を得たことも、最適スキニング周期とオキュパンシーの間の同様な傾向を示すものとして考えられた。

第2章における今後の問題点としては、大型車混入率と交通量とオキュパンシーの関係の明確化である。すなわち、最適スキニング周期や計測誤差率をほぼ一義的に定めるオキュパンシーと交通量の関係において大型車混入率の影響は大であるはずであるが、既存の資料からは、オキュパンシー-交通量関係と大型車混入率の関連性を定量的に解析することはできなかった。この方面の検討を今後^{・・・}に期待するものである。

第3章では、多車線道路における車両検知器の横断方向の配置方法と、断面交通量計測の信頼性を論じたものである。まず、各神高速道路における各種交通実態調査の結果を利用して、片側二車線の地方部高速道路における断面交通量が与えられた場合の交通量、オキュパンシーおよび大型車混入率の車線配分を行ない、異常交通に対してはそのうち小型車は、走行車線側あるいは追越車線側のどちらかで検知する標準状態、およびどちらにも検知されない無検知状態、ならびに両方で検知される二重検知状態の3ケースを想定して、第2章で発展させた計測過程モデルの車線別適用を試みた。なお、車両検知器の車線配置方式は、高速道路調査会交通流監視制御研究班の実測結果からみて、一車線一検知器配置方式を想定し、その車道面における検知範囲の間隔は、小型車がどちらかの車両検知器で検知される限界をとって1.7m程度を想定している。

計算結果によると片側二車線の地方部高速道路における、車両検知器による交通量計測の誤差率の範囲は信頼度95%の異常通行に対して、断面交通量1000台/時から2000台/時の範囲を想

定した場合、ほぼ－3%から4%の間にあることが理論的に求められた。また最適スキャンニング周期については、絶対誤差率の最小化、異常通行車の検知状態から派生するプラスおよびマイナスの誤差率の平均化等の観点から、一車線交通流と同じ最適スキャンニング周期を片側二車線の場合にも適用することが良いことが確かめられた。同時に二車線交通流による誤差率の変動範囲は、異常通行率によって支配されることも確かめられた。

多車線道路への計測過程モデルの適用にあたって問題となるのは、やはり上に述べた異常交通台数のとりあつかいである。本研究においては、名神高速道路吹田交通管制区間内の車両検知器の設置位置における交通量と異常通行率の調査結果を回帰分析した結果、意味のある直線関係はないと判定されたため、交通量のどのレベルに対しても一定の異常通行率を用いたが、完全自由交通から渋滞領域までの交通の流れを考えた場合、さらにこの種の調査を積み重ねてより現実に近い交通量と異常通行率の関係を定めることが望ましいと考えられる。

第3章の最後に車両検知器の設置箇所について考察を加えたが、その結論は、多車線道路における交通量計測の誤差は、その大半が異常通行に起因するものであることが確かめられたのであるから、車両検知器は可能なかぎり異常通行発生の可能性の小さい地点を選ぶべきであるということであった。また、二車線ランプ等特殊な箇所では、単に路面上に引かれたレーンマークから横断的な設置箇所を定めるのではなく、横方向走行位置の実測結果から車両検知器の検知範囲を定めることが望ましいことを指摘した。

第4章では、車両検知器の地点配置について考察を加えた。まず交通管制技術の発端を開いたアメリカの高速道路における車両検知器の設置例をシカゴとヒューストンを例にとって紹介した。いずれの場合も判断基準の差はあるが、流入調整の目的に合った設置方式をとっている。つぎに日本の場合の例として、首都高速道路、阪神高速道路および名神高速道路の交通管制システムにおける車両検知器の設置例を示した。首都高速道路、阪神高速道路共に流入ランプ間隔が短く、車両検知器は各ランプ上あるいは渋滞多発区間に配置され、区間交通量の予測と渋滞状況の把握に適した配置になっている。名神高速道路の例では、やはりランプ付近の本線およびランプ上に設けられ、区間交通量の推定には役立っているが、インターチェンジ間隔の長い地方部高速道路においては、事故等の交通流における異常を検知するためには、さらに検討の余地があることが示された。

そこで、地方部高速道路における車両検知器の配置方法についてのこれまでの研究を紹介し、等間隔設置方式の場合の設置間隔の交通量計測結果に及ぼす影響の検討を行なった。このためには交通量計測の単位時間と、その間における交通量の変動特性をまず知る必要があるが、計測単位時間についてはこれまでの研究結果および実施例から5分間計測が妥当であるとし、また変動特性につ

いては、二重マルコフ連鎖に基づく交通発生モデルから分散平均比を求めた。分散平均比の値は、スキャンニング周期によって変動するが1.0～1.3程度であり、これまでの調査研究の結果と比べて妥当なものであった。

つぎに、二車両検知器間の交通の伝播状態を表わすため時間、空間および速度軸からなる三次元モデルを想定し、平常時および中間に異常事態が発生した場合の上、下流側の二車両検知器間の計測交通量の算定式を組み立て、これによって2 Km間隔設置の場合と5 Km間隔設置の場合の異常事態検知の可能性の差を比較した。異常事態検知可否の判断基準は、異常がないと仮定して上流側車両検知の計測交通量から計算される下流側交通量と、下流側車両検知器の計測交通量（異常があった場合の）を比較し、その変動特性から信頼限界以上の変動が生じた場合は、異常検知可能とするものである。一車線閉鎖程度の異常事態が両車両検知器の中間で発生した場合を想定して、異常事態検知の可能性の差を試算したところ、5 Km間隔設置方式では、2 Km間隔設置方式と比べて35%程度は検知が5分間遅れることが結論づけられた。ただし、異常事態発見から救急活動あるいは渋滞解消等の対策をたてるのに必要な質的情報を非常電話等で得るまでに要する時間を考えれば、設置と保守に多大の費用を要する車両検知器の設置は、5 Km間隔でも許容しうるものと結論された。

以上が本研究の要約である。これらの成果をまとめれば、

- (1) 超音波式、あるいはループ式車両検知の最適スキャンニング周期は、二重マルコフ連鎖を利用した交通発生モデルおよび計測過程モデルを利用して、交通流特性の見地からも求めることが可能で、地方部高速道路の場合の最適スキャンニング周期は125 ms～150 msである。
- (2) 上記の交通発生モデルおよび計測過程モデルは、多車線道路にも適用可能である。片側二車線の地方部高速道路に上記モデルを適用した結果、交通量計測の誤差は-3%～4%程度であるが、その大部分は、車線を跨いで走行するいわゆる異常通行に起因するものである。
- (3) 車両検知器の本線延長上の設置間隔の差により、異常事態検知の可能性は変わるが、交通量の異常変動の検知のみで各種対策を実施に移すことは不可能であるので、地方部高速道路において車両検知器の等間隔設置を考えた場合、2 Km設置方式よりも5 Km設置方式が無理がない。

と、いえることが言えよう。